



نيكولا برانتزوس



أسفار في المستقبل

المغامرة الكونية للبشرية

ترجمة
د. علي نجيب إبراهيم



مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم
MOHAMMED BIN RASHID
AL MAKTOUM FOUNDATION

أكاديميا



أسفار في المستقبل

المغامرة الكونية للبشرية

أسفار في المستقبل

المغامرة الكونية للبشرية

نيكولا برانتزوس

ترجمة

د. علي نجيب إبراهيم



مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم
MOHAMMED BIN RASHID
AL MAKTOUM FOUNDATION

أكاديميا

أسفار في المستقبل

ISBN: 978-9953-37-583-0

Authorized Translation from the English Language Edition:

Voyages dans le futur

Academia International أكاديميا إنترناشيونال
P.O.Box 113-6669 ص. ب.
Beirut, 1103 2140 Lebanon بيروت، 1103 2140 لبنان
Tel (+961 1) 800811-862905-861178 هاتف
Fax (+961 1) 805478 فاكس
E-mail academia@dm.net.lb بريد إلكتروني

www.academiainternational.com

أكاديميا هي العلامة التجارية لأكاديميا إنترناشيونال

ACADEMIA is the Trade Mark of Academia International

صدرت هذه الطبعة باتفاقية نشر خاصة بين الناشر أكاديميا إنترناشيونال
ومؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم

المحتويات

رسالة مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم

عزيزي القارىء:

في عصر يتسم بالمعرفة والمعلوماتية والانفتاح على الآخر، تنظر مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم إلى الترجمة على أنها الوسيلة المثلى لاستيعاب المعارف العالمية، فهي من أهم أدوات النهضة المنشودة. وتؤمن المؤسسة بأن إحياء حركة الترجمة، وجعلها محركاً فاعلاً من محركات التنمية واقتصاد المعرفة في الوطن العربي، مشروع بالغ الأهمية ولا ينبغي الإمعان في تأخيره.

فمتوسط ما تترجمه المؤسسات الثقافية ودور النشر العربية مجتمعة، في العام الواحد، لا يتعدى كتاباً واحداً لكل مليون شخص، بينما تترجم دول منفردة في العالم أضعاف ما تترجمه الدول العربية جميعها.

أطلقت المؤسسة برنامج «ترجم»، بهدف إثراء المكتبة العربية بأفضل ما قدّمه الفكر العالمي من معارف وعلوم، عبر نقلها إلى العربية، والعمل على إظهار الوجه الحضاري للأمة عن طريق ترجمة الإبداعات العربية إلى لغات العالم.

ومن التباشير الأولى لهذا البرنامج إطلاق خطة لترجمة ألف كتاب من اللغات العالمية إلى اللغة العربية خلال ثلاث سنوات، أي بمعدل كتاب في اليوم الواحد.

وتأمل مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم في أن يكون هذا البرنامج الاستراتيجي تجسيداً عملياً لرسالة المؤسسة المتمثلة في تمكين الأجيال القادمة من

ابتكار وتطوير حلول مستدامة لمواجهة التحديات، عن طريق نشر المعرفة، ورعاية الأفكار الخلاّقة التي تقود إلى إبداعات حقيقية، إضافة إلى بناء جسور الحوار بين الشعوب والحضارات.

للمزيد من المعلومات عن برنامج «ترجم» والبرامج الأخرى المنضوية تحت قطاع الثقافة، يمكن زيارة موقع المؤسسة: www.mbrfoundation.ae.

عن المؤسسة

انطلقت مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم بمبادرة كريمة من صاحب السمو الشيخ محمد بن راشد آل مكتوم نائب رئيس دولة الإمارات العربية المتحدة رئيس مجلس الوزراء حاكم دبي، وقد أعلن صاحب السمو عن تأسيسها، لأول مرة، في كلمته أمام المنتدى الاقتصادي العالمي في البحر الميت ـ الأردن في أيار/مايو 2007. وتحظى هذه المؤسسة باهتمام ودعم كبيرين من سموه، وقد قام بتخصيص وقفٍ لها قدره 37 مليار درهم (10 مليارات دولار).

وتسعى مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم، كما أراد لها مؤسسها، إلى تمكين الأجيال الشابة في الوطن العربي، من امتلاك المعرفة وتوظيفها بأفضل وجه ممكن لمواجهة تحديات التنمية، وابتكار حلول مستدامة مستمدة من الواقع، للتعامل مع التحديات التي تواجه مجتمعاتهم.

شُكر

كُثرٌ همُ الزملاء والأصدقاء الذين ساعدوني طيلة فترة تأليفي لهذا الكتاب، بملاحظاتهم وتشجيعهم. أَودُّ أن أشكر خصوصاً "سيلفي فوكلير" من مُختَبر الفيزياء الفلكية في تولوز، و"سيلفي كابري" من مرصد باريس، و"آن لوفيفر" من مركز القياس الطيفي النووي في أورساي، و"أوفري شاتزمان" و"لودفيك سيلنيكييه" من مرصد مودون، و"ستيفان آرنوتس" و"جان مويتّ" و"دانييل كنث" و"برويز ميرات" من المعهد الفيزياء الفلكية في باريس. والشكر الجزيل لـ"هيوبرت ريفيز" على نصائحه، ولـ"جان مارك ليفي لوبلون" على قراءته النقديّة وعلى صبره. وأخيراً، أنا مدينٌ لِـ"غي بولوس" صديقي منذ زمنٍ طويل في الجامعة الحرَّة في بروكسل، الذي كان سيستحيل عليَّ، من دون مُساعدته القيِّمة، أن أُنجز نصَّ هذا الكتاب.

إهداء

إلى قسطنطين تسيولكوفسكي، وهيوبرت. ج. وِلز، وجون. د. برنال، وأولاف ستابّلدون، وأرثور. س. كلارك، وفريمان دايسون، وإلى جميع المستكشفين الآخرين لمستقبلِنا الكوني:

لِيكُن هذا المُستقبلُ أطولَ، وأعقدَ، وأغنى بالأحداثِ

من كُلّ ما استطاعوا أن يتخيّلوه...

تقـديم

ها قد مضت أربعة عقود على تلاحق اكتشاف جِوارنا السماوي. لقد زرنا القمر وحطّت آلاتنا على المُشتري، والمرِّيخ، وذرعت مسابرُنا المجموعة الشمسية بدءاً من عطارد إلى... ما وراء بلوتو. ثمّة مشاريع عديدة قيد التحضير النشِط، وخصوصاً اكتشاف تينان الغامض الذي يغصّ غلافه الجوي بالعنصرين الكيميائيين، الكربون والآزوت، وهما مكوِّنا الحياة على الأرض.

إنَّ مسعى مؤلِّفي الخيال العلمي، الذي يسبق أحياناً نشاط المختَبرات ومنصات الإطلاق، قائمٌ الآن في الميدان نفسه. فقد أنشأت مؤلَّفاتُ "جول فيرن" و"هـ.ج ويلز" سيناريوهات تشبه أحياناً الوقائعَ اللاحقة إلى حدٍّ مُدهِش. وغالباً ما حضَّر خيالُ هؤلاء الحكواتيين الخصْب، مُخطِّط المهندسين، وروّاد الفضاء، كما حفَّز حدسُهم مشاريعَ كثيرة.

ماذا يخبّئ لنا المستقبل يا ترى؟ إلى أي حدّ سنمضي في اكتشافنا ؟ إلى النجوم ؟ حتى الكواكب البعيدة ؟ هل سنزور ذات يوم التشكيلة الغريبة للكواكب المُشعّة (البلسارات)، والكويكبات اللامعة، والثقوب السوداء التي تكتظُّ في كوننا؟ ما المشاريع التي يمكن النظر فيها مع تقنيات اليوم ؟ وتقنيات الغد ؟ ما الالتزامات التي ستفرضها علينا معرفتُنا حول سلوك المادة؟ وهل هذه الالتزاماتُ نهائية؟

إنَّ عالِم الفيزياء الفلكيَّة "نيكولا برانتزوس"، الذي يتمتّع بِسمعة دولية،

هو الآن دليلٌ من طرازٍ أوّل في هذا الميدان. وهوَ، لِكونه قارئاً مثابراً ومتحمّساً لنصوص الخيال العلمي، يحلّل لنا الآن سيناريوهات المستقبل، كما يقيِّم، بمؤهلاته المهنية، مُلاءمتها لأمَدٍ طويل إلى حدٍّ مّا. ويُحدِّثنا عن حال الكون في مليارات ومليارات (...) السنين القادمة.

من المُناسِب هنا التذكير بأن السيناريوهات المستقبلية تستند كليّاً على حال المعارف لحظة إعدادها. لكنَّ البحث العلمي يستمرّ، والعلْم يتقدّم. ويُمكِن أن تضع مُكتسباتٌ جديدة سياقَ الأحداث المُستقبليّة المُتوقّع مَوضِعَ التساؤل.

والأمثلة التاريخية لا تُعوزنا. ففي بداية القرن التاسع عشر، كانت التطوُّرات الملحوظة لدراسة آلية الحركة السماوية تُعزِّز فكرة الحتميّة المُطلقة لِظواهر الطبيعة. وكان مجرى المُستقبل (على الأقلّ من حيث المبدأ) مُتوقّعاً بشكلٍ كامل. لا شيءَ "جديداً" كان يُمكن أن يحصُل. وسوف يقول آينشتاين لاحقاً: " الحريّة، والمستقبل وهْمانِ عنيدان". وكان المُستقبل محكوماً، حُكماً لا رجعة فيه، بأن يتكرَّر دون ملَلٍ، ضمن الرتابة الأكثر شمولاً.

في القرن العشرين، تكفّلت الفيزياء الكموميّة من جهة، والنظريّات المدعوّة "الفوضى الحتميّة"، من جهة أُخرى، بتبديد هذه التصوُّرات المؤسفة عن المستقبل. فَبِفضلهما تكتسب المُصادفة واللامُتوقَّع حقَّهما في الوجود، ويُتاح الابتكار والإبداع. ونتنفَّس الصُّعَداء.

يأتينا مثالٌ آخر من تطوُّرات التحريك الحراري (الترموديناميك). ذلك أنَّ كوننا المُعاصِر يُظهر فروقاً شاسعة في درجات الحرارة. فبين المركز الحارق للكواكب، وجليد المُذنَّبات، تُسجَّل الفروق بمئات الملايين من الدرجات. وكان عُلماء الفيزياء في نهاية القرن التاسع عشر، باستنادهم إلى الارتفاع المحتوم لِمعدَّل القصور الحراري (الأنتروبيا)، يتوقّعون أن تتساوى حرارة الكون بالتدريج مع اختفاء الحياة كنتيجة لا مفرَّ منها.

لكنَّ دراسة تأثير ظواهر الجاذبية في سلوك القصور الحراري، من جانب، واكتشاف توسُّع الكون من جانبٍ آخر، أجبرا عُلماء المستقبل على إعادة النظر في تنبؤهم. فالفروق في درجات الحرارة، بعيداً عن أن تقِلّ، تنزع إلى الازدياد مع الزمن. وينبغي قطعاً أن نحتفظ في ذاكرتنا بهذه العلاقة المحدودة بين حال النظريّات العلميّة العرَضية بالتأكيد، ومجرى سيناريوهات المُستقبل.

لا أحد يستطيع أن يُجيب على السؤال الأساسي: ما مصير الحياة والوعي؟ هل هما صائران إلى الموت، أو، على العكس، هل يستطيعان الاستمرار إلى ما لانهاية؟

لقد كشفت لنا القوّة النوويّة، التي تمَّ اكتشافها قبل أقلّ من قرن، وجود احتياطات هائلة من الطاقة كانت مجهولة كُليّاً من قبْل. إذاً كم يبقى علينا أن نكتشِف من أشكال الطاقة التي يُمكنها أن تُطيل صلاحية السكنِ في عالَمنا؟

ينبغي ألّا تُنسينا تطوُّرات العلم المُعاصِر العظيمة أن المُستقبل مايزال مفتوحاً على مصراعَيه.

هيوبرت ريفز

مدخـل

يُعرِّف عالِم الإناسة الأميركيّ "بِن فيني" الإنسانَ بأنَّه "حيوانٌ مُكتَشِف". أمَّا اكتشافُ عالَمِنا، الأرض، فهو اليومَ مُنجَزٌ بصورةٍ جوهريّة". إذ لم تَبق عمليّاً زاوية واحدة من الكُرَة الأرضيّة لم تطأْها قدَما الإنسان. أعماقُ المحيطاتِ وحدَها هي التي ماتزال تحتفظ بأسرارها، وهذا سيدومُ وقتاً طويلاً من دون شكّ. المرحلة اللاحقة للمغامرة البشرية قد تكون الفضاء، هذا "الحدّ الأقصى"، بحسب المُسلسل التلفزيوني المشهور "ستار ترك" Star Trek الذي ما يزال يدغدغ أحلامَ ملايين الناس في العالَم. فافتتانُ الإنسان بالفضاء، ورغبته في الصعود صوب النجوم يتجلّى منذ فجر البشرية، مثلما توضّح بجلاء أُسطورتا "إيكار" و"برج بابل". مع أنَّ المشروع، في الحالين، ينتهي بإخفاقٍ ماساويّ. حيث يتبيَّن أن الله (أو الطبيعة) لا يُسامح غطرسة الإنسان وطموحه المُفرِط.

لم يهتدِ الإنسان إلى المفاتيح التي سوف تفتح له أبواب الفضاء إلّا مع التحوُّل الذي شهِده عصرُنا؛ إذ يؤكِّد الروسي "قسطنطين تسيولكوفسكي أن الوسيلة الوحيدة للتنقُّل في الفضاء الخالي هي الصاروخ، مُستنداً إلى مبدأ نيوتن: "الفِعل ـ ردّ الفعل". لكنَّ رائد عِلم الفضاء هذا يمضي أبعدَ من ذلك بكثير: ففي طريقٍ وسط بين العِلْم والخيال العِلمي، يُواجه مسألةَ إقامةِ الإنسان الدائمة في الفضاء، واستيطان الكواكب الأخرى في المجموعة الشمسيّة، وحتى إمكانية بلوغ الكواكب البعيدة، واستخدام طاقاتها حين تنطفئ شمسُنا. وفي رأيه

أنَّ قدَر الإنسان إنّما هو في الكواكب، وقد كتب: "*كوكبُنا مهدُ الإنسانيّة، لكنَّ الإنسان لا يبقى في المهد طيلة حياته*".

بدأت رؤى تسيولكوفسكي تتجسَّد بعد نصف قرن، ضمن سياقٍ ما كان ليتخيَّله بالتأكيد. حيث غدا السباق إلى الفضاء واحداً من رِهانات الحرب الباردة بين القوّتين العملاقتين الخارجتين من الحرب العالمية الثانية. السوفييت هم أوّل من توصّلوا إلى إرسال سفينة فضائيّة (سبوتنيك)، ثُمَّ إلى إرسال إنسان (اسمه غاغارين) في مدار حول الأرض. غير أن الأميركيين هم أوَّل من أنزلوا إنساناً على كوكبٍ آخر. ففي 12 تمّوز/يوليو عام 1969، خطا "نِلْ أرمسترونغ" على القمر... "*خطوةً صغيرةً في نظره، لكنَّها كبيرة في نظر البشرية*".

بدا غزو كوكبنا (القمر) مشروعاً بالغ التكاليف، عديمَ الفائدة الحقيقية في عصرنا، اللهمَّ إلا فائدة المجد الوطني. وعلى الرغم من الطموحات التي أظهرها الأميركيون والسوفييت بإرسال بشرٍ إلى كوكب المرِّيخ قبل نهاية القرن، لم يبتعد أيُّ كائنٍ بشري لأكثر من عدّة مئات من الكيلومترات عن مهده منذ عام 1973، وهو تاريخ آخِر بعثةٍ أميركية إلى القمر. هذه السنة هي أيضاً سنة أزمة النفط الكُبرى التي تُشير إلى مرحلة طويلة من كساد الاقتصاد العالمي. لا شكَّ في أنَّ الأمر غير مُتعلِّق بِمصادفة. ففي نهاية القرن العشرين هذه، يسود التشاؤم الذي تفرضه خطورة المشكلات التي تُواجهها البشريّة. وعليه فإنَّ الأزمة الاقتصادية، والانفجار السُّكاني، ونضوب مصادر الطاقة، وتلوُّث الأرض، لا تتركُ إلا مكاناً ضيِّقاً للحلم الكوني.

يرى بعضُ الباحثين، بشيء من المُفارقة، أنَّ عجْز البشر عن حلِّ مُشكلاتهم على الأرض سوف يدفعهم للبحث عن ملاذٍ خارج مهدِهم، أي لاستعمار الفضاء بُغية أن يشيِّدوا فيه المجتمعات المثالية، ثمراتِ الفكر الطوباويّ. هذا المنطق الذي تبدو البشرية، بِحسَبه، قادرةً على حلِّ مُشكلاتها في الفضاء الفلكيّ، وليس في المستوى المُختزَل لبيئتها الخاصّة، الأرض، يشي بتفكُّكٍ

واضح. ويرى بعضهم الآخر أنَّ أشكال الهروب ليست هي التي سوف تقود الإنسان إلى الفضاء، بل دوافعه بوصفه "الحيوان المُستكشِف" هي التي سوف تحمله على أن يغزو باستمرار أصقاعاً أُخرى بحثاً عن منابعَ جديدة، ومعارف جديدة أيضاً. بينما يرى نفرٌ ثالث يُشاطِر إلى حدٍّ مَا الرؤى التنبؤيّة لِتسيولكوفسكي، أننا ببساطةٍ لا نملِك أن نختار: مصيرُنا في الكواكب. والمرور بمرحلة "إنسان الفضاء" *homo spatialis* لا يقِلّ أهميّة عن المرور بمرحلة الإنسان المُخترِع *homo faber* عبر السيرورة الطويلة لتأنسُن الإنسان. ها هو إدوارد يونغ يُدوِّن في كتابه "أفكار ليليّة" أنَّ "أولئكَ الذين يسكنون تحت الكواكب، يُشيِّدون منازلهم في مكانٍ واطئٍ جداً".

هل سنمضي ذات يومٍ إلى الكواكب؟ بأيّة وسائل، ولأيّة غايةٍ؟ ما عسى أن يكون القدَر الفضائي للإنسان في العقود، والقرونِ، والألفيّات القادمة؟ هل سنجِد شكلاً آخر للحياة، "روحاً - شقيقاً" في الكون، أو هل نحن محكومون بأن نتحمَّل عُزلتنا الكونيّة؟ وعلى المدى البعيد جداً، ماذا سوف يكون مستقبل كوكبنا، ومستقبل الشمس، والكون بأكمله؟ وكيف يُمكِن أن يكون مكان الإنسان في هذا الكون الذي لا ينِي يتطوَّر، والذي يكشفه لنا عِلم الأكوان الحديث؟ هل ستكون هناك نهاية كونيّة لا تواجهها العقائد الأُخرويّة الألفيّة وحسب، بل سيواجهها العِلم في القرن الواحد والعشرين أيضاً؟ أم على العكس، سوف تُطيل الحياة والعقلُ نشاطهما إلى الأبد؟ هذا الضربُ من الأسئلة والأجوبة التي سنقدِّمها عليها تشكِّل موضوع هذا الكتاب. إنّما الأمرُ مُتَّصِل باكتشاف مستقبلنا الكوني، على مدى متوسِّط (عدّة قرون)، وطويل، وطويلٍ جداً، والمدى الأخير يعني بالأحرى "الحدود الراهنة لقُدرتنا على التوسُّع في المستقبل".

وهو معلومٌ تماماً أنَّ أيّة محاولة لِعلم المستقبل تشكِّل تمريناً في غاية الوعورة، مثلما يُذكِّرنا بامتياز هذا الرسم للقرن الماضي: نرى فيه برج إيفل سنة 1940 محوطاً ببلايين الصحون الطائرة، لكن لن نرى سيّارة واحدة في

شوارع باريس. وفي الواقع فإنَّ العوامل الاجتماعيّة ـ الاقتصاديّة غير المُتوقَّعة إطلاقاً (حتى على المدى القصير)، أكثر أهميّة من العوامل التقنيّة ـ العلميّة في لُعبة التوسُّع المُستقبليّة هذه. فهل هذا سببٌ كافٍ للتخلّي عن أيّة محاولة لِتصوُّر المستقبل على المدى الطويل؟ لا أعتقد ذلك. إذ إنَّ تنبؤات تسيولكوفسكي وكثيرين غيره تُظهر لنا أنَّ القدرة على الحلُم بالمستقبل حيوية للنوع البشري، ولا غِنى عنها في فتْحِ سبُلٍ جديدة أمامه. حتى لو لم تمتلك هذه القدرة على الاستبصار سلطةً تنبؤيّة، فهي بالتأكيد تمتلك سلطة التأهيل: ففي المُخيِّلة الجماعية، تُسهم في أن تمنح شكلاً لهذا المستقبل بوصفه غيرَ مُتوقَّعٍ (إلّا جزئياً وبصورة غير مباشرة). ثُمّ إنَّ إرادة تصوُّر المستقبل فيما وراء الأفق الزمني القريب هي، من جانبٍ آخر، علامةُ شباب. فالأطفال والمُراهقون هم الذين يحلمون بمستقبلهم واعينَ تماماً أنَّ حادثاً مّا قد يضع نهايةً لأحلام يقظتهم. لكنَّهم لا يستطيعون أن يمتنعوا عن الحلم. كما أنّ الأحلام بمستقبل بعيد لا تمّحي إلا في سِنٍّ مُتقدِّم، والسبب بديهي. فهل يجب علينا اعتبار أنَّ البشرية بلغت هذا العمُر المُتقدِّم، وأنَّ أيّامها (أو عُصورها) محسوبةٌ عليها؟ من دون إفراطٍ في التفاؤل، أنا لستُ من أصحاب هذا الرأي.

ليس هذا الكتاب بحثاً فيما "سوف يحدُث"، بل بالأحرى فيما "يُمكِن أن يحدث"، وذلك بالاستناد إلى معارفنا ومشروعاتنا الراهنة، أو على مجرَّد تأمُّلات رجال العلم أيضاً. وبِمعزل عن قابلية تحقيق هذه المشروعات أو فائدتها المُحتمَلة، فمن المُهمّ أن نرى كيف "يكسو" العِلم المُعاصِر حلُم الأجداد بالسفر صوب الكواكب، وما المنظورات التي يفتحها للفكر الطوباوي، وما هي الإجابات التي يُمكن أن يحملها لأسئلة المُعتقدات الأُخرويّة؟

في الفصل الأول من هذا الكتاب، تُعرَض بعض المشروعات المُتعلِّقة باستيطان الفضاء القريب (القمر، والمرِّيخ، والكويكبات)، وكامل المجموعة الشمسية. بعض هذه المشروعات يُثير منذ الآن مشكلات "أخلاق كونيّة" لا

مناص لنوعنا البشري من أن يُواجهها آجلاً أم عاجلاً. بينما يُخصِّص الفصل الثاني للمرحلة اللاحقة لِمغامرتنا الفضائيّة، أي الأسفار بَيْن النجوم (السريعة أو البطيئة)، المشروعِ الذي يبدو صعباً للغاية. فإمكانية احتمال إتقان الأسفار بين النجوم يُثير، من جانبٍ آخر، مسألة هامّة: هل يُمكن لِحضارة اكتسبت هذا الإتقان أن تنتشر في المجرَّة خلال زمنٍ قصير قياساً إلى معايير الزمن الكوني، وهل يعني غياب الكائنات الفضائيّة من مجموعتنا الشمسية أننا نُمثِّل الحضارة التقنيّة الأكثر تقدُّماً في المجرّة؟ أما الفصل الثالث فيُقدِّم بعض المنظورات المُتَّصلة بمستقبل الإنسان في المجموعة الشمسية على المدى البعيد جدّاً. فمن المُحتمَل أنَّ أحفادنا سوف يُواجهون كوارث كونيّة تُهدِّد وجود نوعِنا على الأرض، وأهمُّها انطفاء الشمس ذاتها. وأخيراً يُشكِّل الفصل الرابع بحثاً في مستقبل الكون على المدى البعيد جدّاً. فَعلم الأكوان الحديث يكشف لنا كوناً دائمَ التطوُّر، ممّا يجعل من الصعب على العقل أن يضمن حياته إلى الأبد...

سوف نعود غالباً، على امتداد النصّ، إلى أدب الخيال العلمي، فهو "وحدَه الأدب الحقيقي اليوم" كما يقول جورج لويس بورخيس. ومن دون أن أُشاطره الرأي بالضرورة، أعتبر أن الاستباق العلمي الذي طالما ازدرته الأوساط الأدبية، اكتسب اليوم مكانةً مُتميِّزة. لقد مثَّل إشكالُ هذا الأدب وموضوعاته منبعَ إلهامٍ في نظر رِجال العِلم؛ إذ تتجاوب بالتأكيد مع عدّة موضوعات عُولجت في هذا الكتاب كما سوف تتاح الفُرصة للقارئ للتثبُّت منها.

1. ضروب المُستقبل القريب

"كوكبُنا مهدُ الإنسانيّة، لكنّ الإنسان لا يبقى في المهد طيلة حياته".

قسطنطين تسيولكوفسكي

"يصعُب قولُ ما هو مستحيل لأنّ حلُم البارحة هو رجاءُ اليوم وواقعُ الغَد".

روبير ب. غودّار

على مسافة 300 تريليون كيلومتر من مركز مجرّتنا يقطن نجمٌ صغير أصفر. وقد ظهر مُتأخِّراً نسبياً في قرص درب التبّانة المهيب، إبّانَ عصرٍ سبق أن ماتت خلاله عدّة كواكب من أجيال النجوم الأولى. منذ تشكُّله الأوّل، يتّبع النجم الصغير دون سأَمٍ مساره الدائريّ حول مركز المجرّة، أُسوةً بحوالي مئة مليار من إخوته. وعلى الرغم من سرعته المُدهِشة البالغة تقريباً 800000 كيلومتر في الساعة، فهو يستغرِق 225 مليون سنة ليقطع مداره الواسع؛ فمنذ ولادته قبل أربعة مليارات ونصف سنة، لم يجتَزْه إلا عشرين مرّة. وثمّة موكبٌ من عشر مجرّات وعدد لا يُحصى من الأجرام تُرافقه في رحلته الطويلة، مُشكِّلة حولَه كوناً مُصغَّراً حقيقياً: مجموعتنا الشمسية.

من بين أجسام عائلة الشمس كلّها، الكوكب الثالث وحدَه هو الذي رأى شكلاً من الحياة يتطوّر على سطحه. ففي مجرى ملايين ومليارات السنين من التطوُّر، غزت المُحيطاتِ كائناتٌ مُتعاظِمة التعقيد: هواء الأرض وأتربتها. بعد عدّة ملايين من السنين، اعتمد بعض هذه الكائنات بالتدريج وضعاً مُنتصِباً، مُستخدِماً

أطرافه الداخليّة لاستعمال أسلحةٍ أو أدوات عمل، وواجداً شكلاً من التواصل الصوتي مع أشباهه. هذه المقدِرات المُستجدّة سمحت له أن يفرض نفسه على الأنواع كلّها، وأن يُقيم عملياً على الأراضي البارزة من الكرة الأرضية.

لقد تأكّدت هذه الكائنات، وهي ترفع البصر صوبَ السماء، من وجود عدد لا يُحصى من النقاط المُضيئة الدائرة حول مركز الكون الذي تُشكّله أرضُهم. لَطالَما أثارت طبيعةُ هذه النقاط فضولَها. أكان الأمرُ باعتقادها مُتّصِلاً بآلهة تجوبُ مملكتها السماويّة، أم بِمُجرَّد صخورٍ عاديّة تنصهر؟ أم أنَّها كذلكَ ثقوبٌ في حجابٍ داكن يسمح برؤية النار الإلَهيّة التي تُحيط بالكون؟ ولئن وُجِدَت، في مكانٍ مّا من هذه النقاط المضيئة، أرضون شبيهة بأرضها، فهل يُمكِن أن تُؤوي كائنات قادرة على النظر إلى السماء. ومع خوفها من المجهول، كانت تتمنّى أن تمضي لرؤية هذه النقاط البرّاقة من أقرب مكانٍ مُمكِن...

وشيئاً فشيئاً خرجت الكائناتُ التي تمشي على قدَمين، من الأُسطورة. لقد تحقّقت من أنّ مركز الكون ليس أرضها ولا شمسها؛ وفهِمت أيضاً أنَّ هذه النقاط المضيئة هي شموسٌ نائية، تقع على مسافات شاسعة بأكثر ممّا كان أجدادها يستطيعون أن يتصوَّروا. وكلّما كان اكتشاف أرضها يتقدّم، كانت تنحسر الأماكن البكر فيها مُختزِلة أكثر فأكثر موطن أحلامِ المغامرين بأصقاع نائية. وهكذا كانت تتعاظم فضاءات النجوم في جذبها للحالمين بِعوالِم جديدة، للطوباويين الذين كانوا يبغون تشييد مُجتمعاتهم المثالية بعيداً عن طغيان كوكبهم، وفساده، وبؤسِه.

لم يبدأ البشر إلا حديثاً بتحقيق حلُمهم القديم بالخروج إلى الفضاء. إثر عقدٍ من الزمن فقط بعد أكبر مجزرة في تاريخ نوعهم، توصّلوا إلى التحرُّر من جانبية الأرض. وهكذا استطاعوا أن يروا، للمرّة الأُولى، خارج مهدِ نوعهم. بعد عِدّة سنوات من قطع الحبْل السُّري مع كوكبهم ـ الأمّ، تمكّنوا من النزول على أقرب كوكبٍ، وإرسال مسابِر آليّة لتكتشف أربعة أركان مجموعتهم الشمسية. واليوم، مع فجر الألفية الثالثة، يُواجهون بقية مُغامرتهم الكونيّة ...

من الحلُم إلى الواقع

تتجلّى فكرة الأسفار في الفضاء في وقتٍ مُبكِّر نوعاً مّا من تاريخ البشرية. إذ لا يهتمُّ مؤلِّفو النصوص الأُولى التي وصلتنا على نحوٍ خاصّ بوسائط النقل، ويتركون العنان لخيالهم. وهكذا ففي عام 167 بعد الميلاد، يُرسِلُ "لوسيان الساموزاتي" بطلَ قصّته "إيكارومونيبّوس" إلى القمر بأجنحة طائر، على حين أنّ مركب البطل، في القصّة الحقيقية (التي ليست إلا مجموعة من الأكاذيب)، يُحمَل إلى السماء من خلال عاصفة عنيفة. وبعد زمنٍ طويل، في فجر النهضة، "لاريوست" يُرسَل "آستولف" إلى القمر أيضاً ممتطياً حصاناً مُجنّحاً لكي يبحث عن العقل الضائع لبطل قصة رولان الغاضِب. ووسائل السفر لم تُضايق أكثر "جوهانس كيبلر"، مع كونه رجُلَ علمٍ معروف، يستخدم، ببساطة في كتابه "الحلُم"، خدَمات فاعِلِ خير لكي يُرسِلَ بطلَه إلى القمر (وِجهة المرتحلين الفضائيين المُفضّلة خلال فترة طويلة). وكان لا بُدّ من انتظار سنة 1655 حتى يستخدم "سيرانو دو برجوراك" وسائلَ أكثر إتقاناً، في كتابه دُوَل وإمبراطوريات الشمس والقمر، يضع بطلَه نظامَ صواريخ لا يكاد يُشغِّلها، الواحد بعد الآخر، حتى تُفضي إلى اقتلاعه من الجانبية الأرضية (مما لا يمنع أيضاً من استخدام وسائل أُخرى أكثر خيالية).

ليست المغامرة والاكتشاف الحافزَين الجوهريّين لِمؤلِّفي هذه الأسفار المُتخيَّلة التي يقتصر نفعُها، في أغلب الأحيان، على كونها ذريعة نقد للمجتمع، أو كونها رؤيةً ما إلى العالَم. ففي قصّة ميكروميغا، يجعل فولتير أحد سُكّان كوكب سيريوس يزور الأرض، فينظر هذا الكائن من أعلى قامته البالغة 120000 قدَم (!) بعين الدهشة تصرُّف البشر العبَثي. في هذا المؤلَّف، يُريد فولتير أن يُهاجم المواقف المدرسية الجامدة لِتوما الأكويني المُتأثِّر بأرسطو، الذي كان يضع الإنسان في كتابه مُختصَر علم اللاهوت في مركز الكون. وربُّما استلهم فولتير ذلك من رحلات جوليفير حيث ينكبُّ جوناثان سويفت على النقد اللاذع لِمُجتمع عصره.

وفي الواقع فإنَّ المغامرات الفضائية ليست مُحتَّمة فعلياً على أولئك الذين يُريدون نقد المجتمع واقتراح عالَم أفضل. إذ بقِيَ على خريطة الأرض حتى نهاية القرن الثامن عشر ما يكفي من الأصقاع المجهولة والنائية لِتؤوي مدُناً وبُلداناً ولَّدها الفكر الطوباوي. ثمّة على الطريق التي فتحتها جمهورية أفلاطون، توماسو كامبيللا مع "*مدينة الشمس*"، وتوماس مور مع "*مدينته الفاضلة*"، كذلك يقترح عشرات آخرون رؤيتهم لِمجتمع مثالي مُتحرِّر من المظالِم والبؤس بِفضل العقل أو بفضل التقدُّم العلمي.

من بين أصحاب المدُن الفاضلة هذه، ذاك الذي له، من دون شكّ، أكبر تأثير في تطوُّر الحضارة الغربية: فرنسيس باكون. ففي كتابه الضخم "*أطلنطا الجديدة*" المنشور سنة *1627*، يتخيَّل مُجتمعاً يتوجَّه صوب العِلم، والتقنية، والتجارة، وهو مُنظَّم بطريقة تجعل أفراده جميعاً يستفيدون من التقدُّم. و"*بلد بن سالِم*" الذي يكتشفه بطلُه بعد أن يعبُر المحيط، لا يُشبه بريطانيا في عهد إليزابيت بقدر ما يُشبه اليابان في أيّامنا. فمواطِنو بلد بن سالِم يملكون ثلّاجات، وطائرات، وغوّاصات ... و"*تُجّار النور*"، وهم شكل من جواسيس الصناعة المُعاصرين، يُسافرون إلى البلاد النائية لكي يحملوا أيّة معلومة تقنيّة يُمكِن أن تُفيد بن سالِم. يُرسلُهم، ويوجِّههم "*شارِحو الطبيعة*"، وهم رجال عِلم أنقياء، وقادة بلَد حقيقيُّون يعتمدون محاور ذات أولويّة في البحث والتقدُّم.

فكرة أنَّ العِلم يُمكن أن يجلب الفوائد التقنيّة والمنافع الماديّة على المدى الطويل، بشرط أن يكون البحث مُنظَّماً ومُحرَّراً من كلّ تدخُّل ديني، تبدو اليوم بديهيّة؛ غير أنَّها كانت في القرن السابع عشر فكرةً ثوريّةً حقّاً. فَـ "*بَيت سُليمان*"، مركز النشاط التقني لابن سالم، يقدِّم صورة مُسبقة لأكاديميات العلوم، ومراكز البحث الأخرى في أيامنا. لذا يُقِرُّ ديدرو ودالامبير إقراراً واضحاً بالتأثير الواسع لِباكون، ويُحيِّيانه في موسوعتهما الضخمة المنشورة سنة 1751. وبحسب ما يقول برتران راسل: يعود شعار "*المعرفة تُعادل القوّة*" إلى باكون.

لقد غيَّر انفجار العلوم والتقنيّات في القرنين السابع عشر والثامن عشر رؤيتنا للفضاء إلى درجة كبيرة. ووسائل الوصول إليها تبغي أن تتوافق مع المعارف التقنية للعصر. وهكذا فإدغار آلان بُو، الابن المُخيف للأدب الأميركي في القرن التاسع عشر، يستخدم منطاداً لكي ينقل هانس بفآل إلى القمر. والأكثر شُهرة من هذا هي "الرحلة الخارقة" لأبطال كتاب "من الأرض إلى القمر": في عصر الثورة الصناعية، يتخيّل جول فيرن استخدام مدفع بطول 300 متر، اسمه كولومبياد، لإطلاق مركبة سريعة حول كوكبنا الأرض. والحقّ أنّ "جول فيرن"، على الرغم من الإتقان الظاهر لِجهازه، كان يعرف تماماً أنه غير واقعي: فالركاب قد يموتون على الفور، إمّا بسبب السرعة الهائلة، وإمّا بسبب الحرارة الناتجة عن الاحتكاك بطبقات الغلاف الجوِّي عند الخروج من المدفع.

أمّا عملاق الخيال العلمي الآخر، في نهاية القرن التاسع عشر، وهو "هربرت. ج. ويلز"، فيُفضِّل وسيلة أكثر "باطنيّة" بهدف إرسال أوّل البشر إلى القمر. ففي هذه الحكاية المنشورة سنة 1901، تُلغي آلة "الكافوريت"، وهي الآلة التي اخترعها البروفسور "كافور"، آثار جاذبية الأرض. وبذلك تسمح للمُخترع ولِمُعاونه أن يقوما بأوّل رحلة فضائية منقولة على الشاشة. وبالفعل، يستلهِم جورج ميلييز عملَ ويلز ويُخرِج سنة 1902 فيلماً قصيراً (من حوالي 15 دقيقة)، عنوانه "رحلة إلى القمر".

وعلى الرغم من الجهود الواقعيّة لِرُسُل الخيال العِلمي الأُوَل (بُو، وفيرن، وويلز)، لم يكن لديهم من شيء يقترحونه سوى وسائط نقل خادعة، كالتي اقترحها لوسيان وآريوست. وكان ينبغي، لكي يغدو الحلُمُ واقعاً، سلوكُ سبيلٍ آخر. وهكذا فأوّل من يصِل إلى إيجاد "مفتاح" أبواب الفضاء هو قسطنطين تسيولكوفسكي. هذا المُعلِّم الروسي الذي كان يعمل معزولاً في قريته الصغيرة "كالوغا"، قُرْبَ موسكو، يتأكّد، في نهاية القرن، من أنَّ الصاروخ هو الوسيلة الوحيدة التي تسمح بالتنقُّل في الفضاء الخالي. وبدءاً من عام 1897، يُنشىء

تسيولكوفسكي العبارة المشهورة للدفع عبْر الصاروخ، ويعرضها في كتابه "اكتشاف الفضاء الكوني من خلال أجهزة نفّاثة"، المنشور سنة 1903. ويُفكِّر، بالإضافة إلى ذلك، في استبدال البارود، المحروق الوحيد المُستخدم في ذلك الوقت، بمزيج من الهيدروجين والأكسجين السائلَين اللذَين يُتيحان زيادةً هامّةً للفعاليّة؛ كما يتخيَّل صواريخ من عِدّة مراحل، وملابس فضائية تقي من فراغ الفضاء وبردِه. لكنَّ المُتنبئ تسيولكوفسكي يمضي أبعد من ذلك بكثير. إذ يُواجه تطوُّر الزراعة في مُستوطنات فضائية تدور حول الأرض، واستخدام الطاقة الشمسيّة في التنقُّلات الفضائية. ويُلاحظ في كتابه "أحلام الأرض والسماء"، المنشور سنة 1895، أنَّ كوكبنا لا يختزن إلّا جُزءاً من مليار من الطاقة الشمسية. لذا يوحي بأنَّ النوع البشري يُمكن أن يستفيد من كامل منبع الطاقة هذا الذي لا ينضب، وذلك إذا توصَّل إلى استيطان المجموعة الشمسية بأكملها، بادئاً بالنجوم والكواكب صغيرة الحجم، وسهلة القِياد ...

ونظراً لِرؤى تسيولكوفسكي البروميثية، المُتناغِمة مع مفهوم "الإنسان الجديد" للثورة البلشفيّة، تمَّ انتخابه عُضواً في الأكاديمية السوفييتية للعلوم سنة 1918، ليجدَ نفسه مُكلّلاً بأوسمة الشرف كافّةً حتى مماته سنة 1935. فدَورُه كرائد علمي مُعترَف به عالميّاً، مثلما يؤكّد نظيرُه الألماني هِرمان أوبيرث، في مُراسلتهما حيث يُخاطبه قائلاً: "لقد أضرمتَ الشُّعلة. لن نتركها تنطفئ، سوف نُحاول تحقيق أجملَ حلُم للإنسان".

إنَّما بدَل أن يخدم عِلمُ الملاحة الفضائيّة اليافع حلُمَ الإنسان، كاد، مع ذلك، يُعجِّل دمارَه. ففي قاعدة "بينيموند" السرِّية، في شمال ألمانيا، يبدأ "فيرنهر فون برون" وفريق عملِه سنة 1943، بإنجاز صواريخ V2 المشهورة (اختصار لِـ "سلاح الانتقام 2")، ضمن إطار محاولة أخيرة لألمانيا النازيّة لِتقلب موازين الحرب. وهكذا سقطت عدّة آلاف من صواريخ V2 على إنكلترا مُخلِّفةً 2500 ضحيّة من السكّان. لكنْ كان قد فات الأوان إذ حُسِم مصير الرايخ الثالث. وإذّاك،

أعدُّوا العِدَّة للمُشاركة في برامج فضائيّة أميركيّة أو سوفييتيّة. وكان الهدف الرئيسي لهذه البرامج بناء أُسطول من الصواريخ عابرة القارّات، قادرة على إرسال أسلحة نوويَّة إلى أراضي الخَصْم. ومن حُسن الحظّ أنَّ ثمَّة، ضمن إطار "الحرب الباردة"، كفاءاتٍ أقلّ إرهاباً، والسباق إلى الفضاء يُمثِّل واحدةً منها، وهو أعظمها بالتأكيد.

هكذا يصل يومُ الظَّفَر إلى السوفييت أوَّلاً: ففي الرابع من تشرين الأوَّل/ أكتوبر سنة 1957، في الذكرى المئويّة لميلاد تسيولكوفسكي، قام فريق "سيرغي كورولوف" الذي كان على وشْكٍ أن يصير أُسطورة، بوضع أول قمرٍ صناعيّ (بالروسيّة سبوتنيك) في المدار. وهكذا يُسجِّل السوفييت أوَّل نُقطة، ويُتبِعوها على الفَور بسلسلة مُدهشة من النجاحات الأُخرى، وأكثرها رمزية من دون شكّ، وضع يوري غاغارين في المدار. وفي 12 نيسان/أبريل، سنة 1961، يغدو غاغارين أوَّل إنسان يُغادر مهد النوع البشري مُدّة 108 دقائق، زمن استهلاك أسطوانة أوكسجينه "فوستوك"، لِيقوم بدورة حول الأرض على ارتفاع مئة كيلومتر.

أمّا الأميركيون الذين اندهشوا للوهلة الأولى من عرْض التفوُّق التكنولوجي السوفييتي هذا، فلم يتأخَّروا في التصرُّف. إذ يُثبِّت "جون. ف. كنيدي"، بعد خطابه المشهور سنة 1961، الهدف الفضائي لبلده وهو إرسال أوَّل إنسان إلى القمر قبل نهاية الستينيات. وهكذا وُلِد برنامج "أبولو" في 21 تموز/يوليو سنة 1969، و"نِلْ أرمسترونغ" يدخل التاريخ بدوره طابِعاً آثار أوَّل إنسان على كوكبٍ آخر. وكانت أحلام لوسيان، وكبلر، وسيرانو، وكُثُر آخرين قَيْدَ التحقيق.

كذلك يعود الأميركيون إلى القمر سبْع مرَّاتٍ حتى عام 1973، وهو التاريخ الذي ينتهي فيه برنامج أبولو بالغ التكاليف. ويضعون فيما بعد برنامج المكُوك الفضائي الذي يرى النور في الثمانينيات، ويُحقِّق نجاحات لا جدال فيها، لكنّه يشهد أيضاً مأساة "تشالنجر" القاسية. أمَّا السوفييت، فيختارون تطوير

المحطّتين الفضائيّتين (ساليوت ومِير)، بالتحديد لدراسة سلوك الجهاز العضوي للإنسان خلال الإقامة الطويلة في الفضاء.

وعلى الرغم من الأزمة الاقتصادية الراهنة، من المُحتمل أن يشهد العقد الأوّل أو الثاني من القرن 21، عودةَ الإنسان إلى القمر، وهي المرحلة التي لا غنى له عنها في غزْوه للمجموعة الشمسية.

"الأسى الجليل"

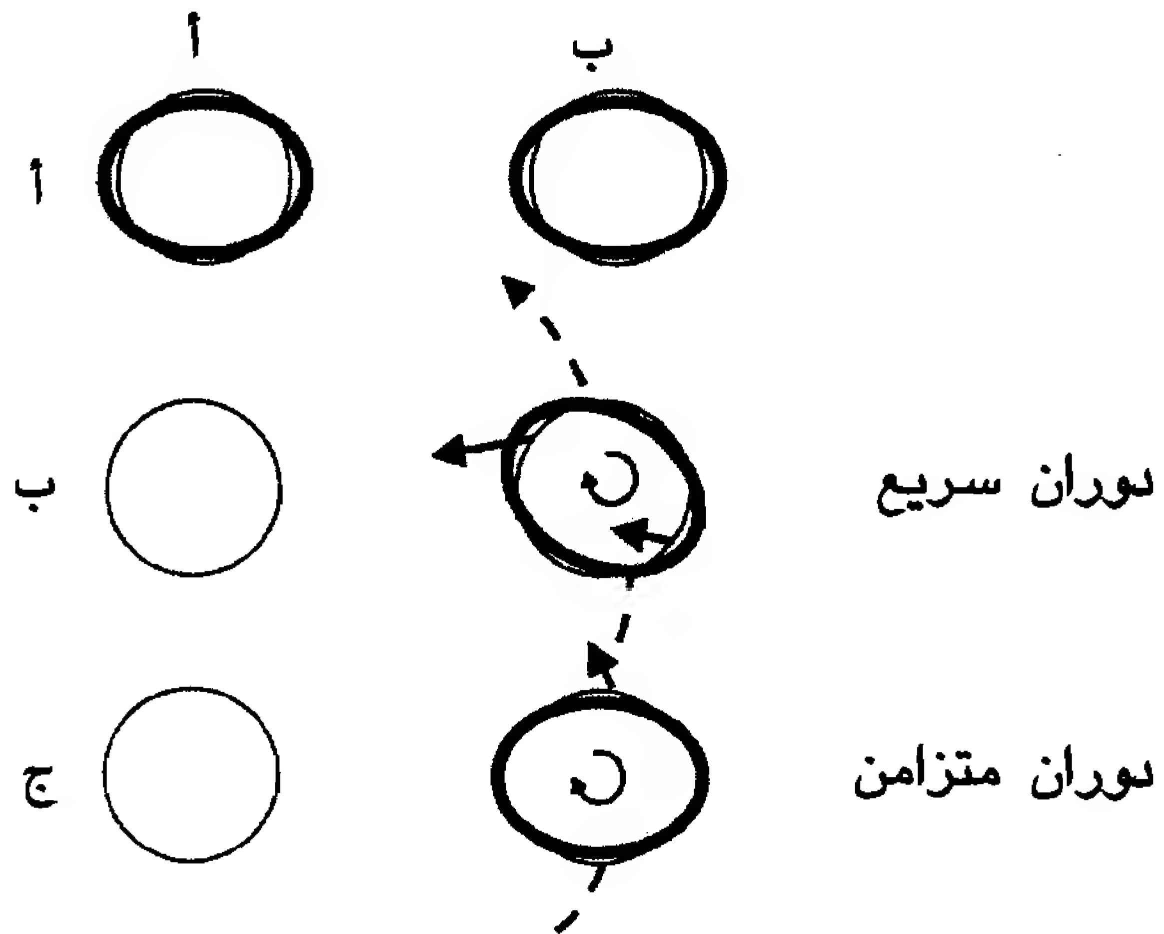
القمر الذي يبعد مسافة 384000 كيلومتر من الأرض هو أقرب الأجرام من كوكبنا. قُربه هذا جعل منه وُجهةً مُفضّلة في نظر المُرتحلين في الفضاء عند لوسيان، وآريوست، وسيرانو، وحالمين آخرين في الماضي. حتى إنَّ فكرة الأسفار في الفضاء ما كان لها، من دونِ شكّ، أن تُولد في وقتٍ باكرٍ من تاريخ البشريّة في غيابِ مُصاحبتنا لليل.

بين عامي 1959، سنة أوّل تحليق للسابر الفضائي السوفييتي لونا 1، و1976، تاريخ عودة لونا 24، أسهمت 56 بعثة قمرية في استكشاف قمَرنا. كانت ذروة هذا المشروع نزول ستة طواقم أميركية على سطح القمر (بين 1969 و1973) جلبت إلى الأرض 380 كيلوغراماً من المواد القمريّة. بعد هذه الموجة الاستكشافية الأولى، دار مسباران فقط، الأوّل ياباني والثاني أميركي، حول القمر خلال الأعوام العشرين الأخيرة.

من نصف قطْر أكبر بقليل من ربع نصف قطر الأرض، يُغطّي القمر مساحة تقرب من 40 مليون كيلومتر مربع، تُساوي مساحة القارة الأميركية. وكتلته أصغر من كتلة الأرض بـ83 مرّة، والجاذبية على سطحه أضعف ستّ مرّات من جاذبية الأرض. والغلاف الجوّي للقمر أقلّ كثافةً من أفضل فراغ يُمكننا الحصول عليه على الأرض: كثافته أقلّ بمئات بلايين المرّات من الغلاف الجوّي

للأرض، وكُتلته الإجماليّة لا تتعدّى عشرة أطنان. وفي غياب التحرُّك الجوِّي، تتطوّر فروقٌ هامّة في درجة الحرارة بين الأماكن المُعرَّضة مُباشرةً للشمس، والأماكن المُظلِمة. في الليل، تهبط درجة الحرارة إلى - 170 درجة لترتفع خلال النهار إلى أكثر من + 110 درجة مئوية.

الليالي والنهارات القمرية تستمرّ 14 يوماً أرضيّاً. وخلال 28 يوماً أرضياً، يُتِمّ القمر دورةً كاملة حول محوره، ودورة كاملة أيضاً حول الأرض (مما يُحدّد "شهراً" على كوكبنا). هذا التطابُق بين اليوم و"الشهر" القمريّ ناتج من أثر المَدّ (الشكل 1.1)، التي سوف تُنكَر نتائجه غالباً فيما يأتي من هذا النصّ.



الشكل 1-1. أثرُ المدّ.

أ - تُسبّب القوة الجاذبة بين جسمين صُلبين قريبين نسبياً (الأرض - القمر) تغيير شكليهما إلى إهليلَجين. ولتبسيط المسألة، تحوُّل الجسم ب مُبيّن في ب و ج.

ب - الجسمان لا يدوران فقط حول مركز الكتلة المُشترك بينهما (مدار الجسم ب مُبيّن وحدَه)، بل يدوران أيضاً حول نفسيهما. فإذا كان دورانهما الخاصّ أسرع من دورانهما حول مدارهما، لا يُحاذي المحور الكبير للإهليلج فورياً محورَ النظام (لأنَّ استجابة الجسم ب للتشويه الجذبي الذي يُسبّبه الجسم أ ليس سريعاً كثيراً). في هذه الحال، تجنح القوة الجذبية إلى مُحاذاة

الإهليلج على محور النظام، (الخط المستقيم الذي يخترق مركزيّ أ و ب)، كابحةً بذلك دوران الجسم ب حول محوره.

ج - الإهليلج ب المُتباطئ إلى النقطة التي يتساوى فيها دورانه الخاصّ ودورانه حول مداره (دوران مُتزامِن)، يُظهِر دوماً الجانب نفسه للجسم أ، وهو يدور حولَه. هذه هي حال القمر ومُعظم نجوم المجموعة الشمسية. وهذا المسار نفسه هو الذي كبح قليلاً دوران الأرض حول نفسها : قبل 400 مليون سنة، كانت مُدّة اليوم 21 ساعة.

هكذا يدور القمر حول الأرض مُظهراً دوماً الجانب نفسَه. أمّا صُوَر الجانب المخبوء لقمرنا التي التقطها المسبار السوفييتي لونا 3، فتعود إلى سنة 1959.

تعجُّب إدوان. د. آلدران، مُرافق نِلْ آرمسترونغ إلى القمر، يصِف المنظر القمَريَّ وصفاً خلّاباً : "يا لهُ من أسىً جليل!" والحقُّ أنَّ الاسم يصف الواقعَ أفضل بكثير ممّا تصفه الصِفة. فالسماء القمرية، في غياب الغلاف الجوِّي، سوداء دائماً، حتى عندما تكون الشمس في قمّة السَّمْت. لا شيء فيها يُقارَن مع السماء الزرقاء الجميلة لكوكبنا، العائدة إلى جُزيئات الهواء التي تنثر، بشكل انتقائي، أطوال موجة الضوء الشمسي المُتطابقة مع اللون الأزرق. أمّا تحت السماء القمرية فيمتدُّ منظرٌ صحراويّ، مليء بالفُوَّهات من مختلف الأحجام. يُمكن أن يبلغ قطرها 300 كيلومتر، لكن كُلّما كانت صغيرة، كَثُر عددُها. وخلافاً لافتراضٍ ذائع الانتشار حتى مُنتصف القرن العشرين، هذه الفُوَّهات ليست من أصلٍ بُركانيّ. بل تنتُج من ارتطام النيازك، هذه الصخور الشاردة التي تجوبُ الفضاء بين الكواكب بسرعة عشرات الكيلومترات في الثانية. ومن وقتٍ إلى آخر، يتقاطع مسارها مع مسار نجومٍ أُخرى، كالقمر والأرض. في حال كوكبنا، تتبخَّر هذه النيازك وهي تخترق الطبقات العُليا للغلاف الجوِّي بسرعة فائقة للصوت؛ النيازكُ الأكبر وحدَها هي التي يُمكن أن تصل إلى الأرض قبل أن تتبخَّر بشكلٍ كامل، لكنَّها لِحُسن الحظّ نادرة للغاية. والقمَر، من دون درع جوِّي، مُعرَّض دائماً لهذا التفجير النيزكي الذي كانت كثافته أضخم كثيراً في الماضي. لقد

تحوّلت أرض القمر، التي طرّقتها صدمات النيازك، بالتدريج إلى مسحوقٍ ناعم، هو *الريغوليت* الذي يُشكّل طبقة سماكتها عدّة أمتار.

ونتيجة عدم وجود غلاف جوّي، لا يمتلك القمر حقلاً مغناطيسياً، ممّا يجرُّ عواقب جسيمة. فالفضاء بين الكوكبي يعُجُّ بجُزيئات مشحونة (ألكترونات، بروتونات، ونُوى أثقل) عالية الطاقة. الأمر مُتَّصل بالريح الشمسيّة، هذا الفيض من الجزيئات المُنبعثة من هالة شمسنا، أو من الإشعاعات الكونيّة، جزيئات مُتسارعة نتيجة الانفجارات النجميّة في مجرّتنا. الحقل المغناطيسي لكوكبنا يحمينا من هذه الجزيئات الضارّة، بِحرْفها صوبَ الأقطاب المغناطيسية الأرضية. وما إن تصطدِم هذه الجزيئات بِجزيئات الهواء حتى تفقد طاقتَها، والإشعاع الناتج عنها يولِّد المشهد البهِيّ لأنوار الفجر الشماليّة. وبِحُكم افتقار القمر إلى الغلاف الجوّي والحقل المغناطيسي، يتحمّل باستمرار تفجُّر هذه النيازك الصغيرة جدّاً.

تُثير قسوة البيئة القمريّة، والثمن الباهظ للبعثات، السؤالَ الطبيعي عن فائدة العودة إلى القمر. فخارج إطار المجد الوطني (الذي يُرتجى موته من الآن وصاعداً)، وما عدا بعض الحصى، ماذا يُمكن أن تجلُب مغامرة جديدة إلى القمر؟

مرصدٌ مثاليّ؟

إنّ عُلماء الفلك هم أوَّل المُهتمِّين بالعودة إلى القمر، لأنَّه يُشكّل مُتحفاً حقيقياً إذ يُقدّم معالمَ ماضيهِ سليمةً. هذه المعالِم اختفت عن الأرض منذ زمنٍ طويل بسبب النشاط البُركاني، وحركات تكتونية ألواح طبقات القشرة الأرضية، والحتّ الناتج عن جريان الماء، وحركة الغلاف الجوِّي. ثُمَّ إنَّ نشاط الأرض، الكوكب الحيّ دوماً، يجعل من الصعب إيجاد منفذ إلى تاريخها (إلا بطريقة غير مباشرة، عَبْر الأحافير المتوضِّعة في مُختلَف طبقات الأرض). وعلى العكس، القمرُ نجمٌ ميتٌ منذ زمنٍ طويل. ولم تعُد تجري فيه الحمم البركانية (اللابة) منذ حوالي ثلاثة مليارات عام، وهو العصر الذي تصلَّبت فيه قِشرةُ القمَر كُلياً. وفي غياب الحتّ، احتفظ قمرُنا

في "محفوظاته" بحوادث الارتطام النيزكيّة، والجُزيئات المشحونة المحجوبة، كافةً. وقد تسمح قراءة هذه المحفوظات بإعادة تكوين جزء من تاريخ مجموعتنا الشمسية، وخصوصاً تطوُّر تواتُر النيازك، وكثافة الريح الشمسيّة أيضاً.

لكن اهتمام عُلماء الفلك بغزو القمر غير مُتعلِّق بالماضي فقط. فخصائص قمرنا تجعل منه مرصداً فلكيّاً مثالياً. وغياب الغلاف الجويّ قد يسمح بالوصول إلى كامل طَيْف الإشعاعات الكهرمغناطيسية، وهو وحدَه مصدر معلوماتنا عن الكون. وبِحُكم أنَّ الغلاف الجوِّي للأرض يمتصّ الجزء الأكبر من هذا الطيف، فالتردُّدات المرئيّة والراديوية وحدها هي التي تستطيع أن تتسرَّب إلى سطح الأرض. أمّا التردُّدات الأخرى، فلم يغْدُ الوصول إليها ممكناً إلا في عصر الفضاء الذي سمح بتحميل الأقمار الصناعيّة كاشفات الأشعَّة تحت الحمراء، وفوق البنفسجيّة وأشعة X وغاما...

ثمّة ضرَر آخر يُسبِّبه الغلاف الجوّي الأرضي للرصد الفلكي يتأتّى من طبيعته المُضطربة: فالحركة الدائبة لِمختلف طبقاته تسبِّب انكساراً مُتقلِّباً للأشعة الضوئيّة. والنجوم تتلألأ وتعطي صورة مشوّشة، حتى مع أفضل مقاريب (تلسكوبات) العالَم. بينما قد يسمح غياب غلاف جوِّي حول القمر بالحصول على صُور واضحة جدّاً في الجزء المنظور من الطيف الكهرمغناطيسي. فضلاً عن أنَّ السماء القمريّة، المُظلمة دوماً، تُتيح عمليّات رصد مُستمرَّة، في الليل كما في النهار، في التردُّدات البصريّة (باستثناء الاتّجاهات المُجاورة للشمس أو للأرض). لأنَّ عمليات الرصد في هذه التردُّدات على الأرض لا بُدَّ أن تتوقف في الجوّ الغائم، أو خلال النهار. ودوران القمر البطيء يهيئ أيضاً أوضاعاً للرصد أطول بكثير من تلك التي يُمكن الحصول عليها على كوكبنا.

وتُمثِّل جاذبية القمر الضعيفة ميزةً هامّةً أُخرى في نظر عُلماء الفلك. فَفِيما يتعدّى حدوداً مُعيَّنة، يُسبِّب وزنُ المقراب تشويهاً في آليَّته. ورُبَّما أمكن، على سطح القمر، أن تُصنَع مقاريب أضخم بكثير وبالتالي أكثر إتقاناً من التي تُصنَع

على الأرض. إذ إنَّ وزن المقراب القمري أقلّ سِتّ مرَّات من نظيره الأرضي من نفس الحجم. وقد يسمح بناء المقاريب القمريّة الضخمة، وغياب الاضطراب الجوِّي، بنوعيّة صُور تفوق كثيراً تلك التي تمَّ التقاطها حالياً بواسطة المقراب الفضائي هابل *Hubble*.

كذلك قد تستفيد الأرصاد بوساطة الأشعة تحت الحمراء من البيئة القمرية. لأنَّ مقاريب الأشعة تحت الحمراء حسَّاسة لأشعَّة الأجسام "الباردة" التي لا تزيد حرارتها عِدّة عشرات أو عِدّة مئات من الدرجات فوق الصفر المُطلَق (ـ 273°). والحال أنّ الأرض، مع حرارة متوسِّطة قدرها 290 كلفن (+ 17° مئوية)، تُشكِّل هي نفسها باعثاً هائلاً للأشعة تحت الحمراء. ونصْب المقاريب في القارّة المُتجمِّدة الجنوبية (آنتركاتيكا) أو في الفضاء يُخفِّف قليلاً هذا البثّ الطفيلي، لكن ليس بشكل كامل. ففي القطب الجنوبي لا تهبط درجة الحرارة أبداً تحت 108 كلفن (ـ 93° مئوية)، على حين أنَّ المقاريب الفضائيّة تعبُر جزءاً كبيراً من مدارها غائصةً في ضوء الشمس وحرارتها. وبغية تخفيض الضجيج الداخلي لمقاريب الأشعّة تحت الحمراء في المحيط المُجاوِر للأرض، ينبغي أن تُبرَّد بشكل دائم بواسطة الآزوت، أو الهليوم السائل، مما يزيد كثيراً تعقيد هذه البعثات وتكاليفها. وبالمُقابل، يحمي القمر في مناطقه القطبية بعض الأماكن التي تُعدّ من أكثر المناطق برودةً في المجموعة الشمسية. ولِكون الشمس دائماً منخفضة على الأفق في هذه المناطق، لا يُلامس الضوء إلا ذُرا الفُوَّهات. وتبقى أعماقها دوماً في الظِلّ، ولا تتجاوز درجة الحرارة فيها 50 درجة مُطلَقة (كلفن) (ـ 223° مئوية). هذه الأماكن تُشكِّل مواقع ممتازة لِنصب مقاريب الأشعّة تحت الحمراء.

يهتمُّ عُلماء الفلك الراديوي بمظهر آخر للقمر. فمحيط الأرض "مُلوَّث" سلَفاً بإشارات من كلّ نوع (رادارات عسكريّة، إذاعة، تلفزيون، اتّصالات عن طريق الأقمار الصناعية، إلخ.) سوف تتعاظم هذه الظاهرة بالتأكيد خلال السنوات

القادمة، مع التطوُّر المُتفجِّر للاتّصالات. ولا يبدو أن وعي الأوساط الفلكيّة التي تُحاول الحدَّ من "التلوُّث" في بعض رُقَع الذبذبات قادرة على قلب هذه النزعة. والوجه المخفي للقمر هو وحدَه المكان المحمي من هذه الانبعاثات الطفيلية في الجِوار الأرضي. ثمّة أيضاً باثّان قويّان طبيعيّان للأشعّة في مجموعتنا الشمسية: الشمس والمشتري، أضخم الكواكب. هذان المنبعان غائبان عن سماء الوجه المخفي، خلال نصف الزمن ورُبعَه على التوالي. وخلال ستّة أيام مُتوالية من أصل ثمانية وعشرين، يُمكن لِمقراب إشعاعي على الوجه المخفي للقمر أن يتفحّص السماء ضمن شروط مثاليّة لا يستطيع عُلماء الفلك اليوم إلا أن يحلموا بها.

ومع ذلك، ثمّة أمور أُخرى غير الميزات التي يُوفِّرها القمر للرصد الفلكيّ. فالتفجير النيزكي يُولِّد كلَّ سنة مئات الفوّهات الصغيرة (بِقطر 0.05 مليمتر) على كل متر مُربَّع من مساحة القمر. ويجب أن تُحصَّن مرايا المِقراب ضِدّ هذا التأثير. ذلك أنَّ الغُبار المُتصاعد من سقوط النيازك (والنشاط البشري المُحتمَل بالقرب من المراصد القمريّة) يُمكن أن يُغطي الآلات بالتدريج، ويُقلِّل مستوى أدائها. وقد يُسبِّب انفجار الجزيئات النَّشِطة أعطالاً في الأدوات الإلكترونية للأجهزة كلّها. وأخيراً، يُعرِّض تبايُن درجات الحرارة القصوى بين الليل والنهار الأجهزة لامتحانٍ قاسٍ. لذلك ينبغي استخدام مواد مُركّبة، قليلة التأثُّر بالتقلُّص والتمدُّد الحراري، لبناء مقاريب على القمر.

العقبة الأهمّ في علم الفلك القمريّ هي حالياً تكلفتها المُرتفعة. فعلى الأرض أصلاً، يُكلِّف مرصد في القارة المُتجمِّدة الجنوبية من ستة إلى عشرة أضعاف ما يُكلِّفه نظيرُه على القارّة الأميركية. وبحسب عالم الفلك الأميركي "جاك بيورنس"، أحد أفضل المُتخصّصين في المراصد القمرية، والمُناصرين لإنشائها، قد تتجاوز كلفة المراصد القمرية كلفةَ المراصد الأرضية من ستة أضعاف إلى مئة ضِعف. من البديهي أنّ على مشروعات المقاريب القمرية أن

تكون موضوع اختيار دقيق، لأنَّ النتائج الاستثنائية وحدها تُسوِّغ الاستثمارات المطلوبة.

لم يُحدَّد بعدُ تاريخ نصب أول المقاريب على القمر. إذ يجب أن يسبق هذا المشروع بالتأكيد تصوير دقيق لخارطة سطح القمر، وأفضل معرفة بِمحيطه. وسوف تحُدُّ التكلفة المرتفعة لنقل المواد الأرضية من حجم الأجهزة الأولى. زد على هذا أنَّ هذه الأجهزة ستكون بأكملها أوتوماتية وسَيتمّ التحكُّم بها من الأرض. وحين تُبرهن صلاحيَّة اشتغالها، يُمكِن التفكير بأجهزة أكثر تعقيداً، تُصنَع مُباشرةً من مواد قمريّة. فقمرنا، كما سوف نرى في الفقرات اللاحقة، يحتوي على كل العناصر الضرورية لِصُنع أجهزة الرصد، ولبناء قاعدة مأهولة. والواقع أنَّ عمل المقاريب الضخمة على القمر لا يُتصوَّر من دون وجود قاعدة دائمة. ويبدو أنَّه لا غنى عن النشاط البشري في صناعة الأجهزة المُعقّدة وفي صيانتها. ويجب التشديد على أنَّ استغلال الكامن الاستثنائي لعلم الفلك القمري يفوق كثيراً قُدُرات أُمّة واحدة : التعاون على المستوى الدولي هو وحدَه الذي يسمح بتحقيق مشروعات كهذه، بعد عشرين سنة، على الأقرب.

عودة إلى القمر

خلال وقتٍ طويل، كان رجال العلم وحدهم يهتمُّون بالعودة إلى قمرنا. فالمصلحة الرسمية، التي بعثت صداها في المصلحة العامّة، ذبُلت في نهاية برنامج أبولو. ولم تُبدِ الولايات المُتحدة من جديد، وبشكل رسمي، مصلحتها في العودة إلى القمر إلا في عام 1989، بمناسبة الذكرى العشرين لأوّل هبوط بشري على القمر. فإذ قدَّر الرئيس الأميركي جورج بوش أنَّ نهاية "الحرب الباردة" قد تُحرِّر، من الآن وصاعداً، إمكانية بلاده العلميّة من أجل مهامّ أكثر سلميّة، أطلق مُبادرته لاكتشاف الفضاء.

وقد عرّف فريق علميّ بإدارة "سالي رايد"، أوَّل رائدة فضاء أميركية،

الأهداف الأساسية الأربعة لهذا المشروع الطّموح: الرصد المُنتظَم لكوكب الأرض، واكتشاف المجموعة الشمسية من خلال عمليّات السبر الأوتوماتي، وإرسال روّاد فضاء إلى المرّيخ، والعودة إلى القمر، هذه المرّة بهدف إقامة قاعدة قمريّة دائمة.

كان يجب أن تتِمّ عودة البشر إلى القمر في السنوات الأولى من القرن الحادي والعشرين. حيث إنّ المحطّة الفضائية (المعروضة في أحد الأقسام اللاحقة) كانت ستأخذ دوراً هامّاً في المشروع، كمِنصة إطلاق. وأنّ الروّاد مع المَعدّات سيصِلون إليها بواسطة جهاز إطلاق جديد ثقيل. وكانوا سيستخدمون لاحقاً عربة تحويل لكي يوضَعوا في مدار حول القمر الذي كانوا سينزلون على سطحه بواسطة عربة هبوط. وكانت الفُرَق الأولى ستنصب وسائل علمية، وكذلك أوّل قطع المحطّة المُستقبلية. وكانت هذه المحطّة ستتمكّن، حوالي العام 2005، من إيواء خمسة إلى ستة أشخاص خلال عدّة أسابيع. مثلما أنّ طاقتها ستتعاظم بالتدريج لتستوعب حوالي ثلاثين شخصاً سنة 2010.

لم يلحق كونغرس الولايات المُتحدة الأميركية بالرئيس في هذه المبادرة التي حكم عليها بأنّها مُكلِفة جدّاً بالقياس إلى الأهداف المُبتغاة. لم يمَسّ الإخفاق حماسةَ مُناصِري العودة إلى القمر. ففي الولايات المتّحدة، واليابان، وأوروبا، وُلِدت مشاريع جديدة خلال التسعينيات من القرن العشرين. فعلى الرغم من بعض الاختلاف في إجراءات هذه المشاريع وأولويّاتها، تتقاسم فلسفة مُشتركة: التخفيض الكبير لتكلفة العملية. إذ كلّف برنامج أبولو بين 25 إلى 30 مليار دولار في ذلك العصر، أي ما يُعادل في أيامنا 100 مليار دولار. وتقرير رايد لا يعطي رقماً لتكلفة العودة إلى القمر؛ لأنّه كان جزءاً من مشروع واسع يمتدّ على عِدّة عقود. ومع ذلك، كان المشروع يوجب بناء محطّة فضائية، وجهاز إطلاق حديث ثقيل، وعربة تحويل بين المحطة الفضائية ومدار قُطبي قمري. أكيد أنّ كلفة تطوير هذه الأنظمة كلّها يُعادِل كلفة برنامج أبولو. وبُغية وضع هذه الأرقام ضمن

منظورٍ مُعيّن، علينا أن نعرف أن ميزانية نازا السنوية بلغت في السنوات الأخيرة حوالي 15 مليار دولار.

في عام 1992، اقترح مُهندسو الشركة الأميركية للملاحة الفضائية "جنرال داياميكس"، نُسخة مُعدَّلة على نطاق واسع عن برنامج "رايد"، يُقلِّل كثيراً تكلفة العودة إلى القمر. كان برنامجهم يستغني عن المحطّة الفضائية ويستعيد عناصر تقنيّة مُجرَّبة سابقاً. كانت نسخة مُحسَّنة من صاروخ الإطلاق "تيتان" سَتُستخدَم بدلاً من صاروخ الإطلاق الثقيل في مشروع "رايد"، بينما عربة التحويل في المدار القمري ستكون نُسخة مُحسَّنة للمرحلة الأخيرة من صاروخ "سانتور". وكانت مُختلف مُكوِّنات البعثة صوب القمر مجموعة في مدار قطبي قمري مُنخفض، من دون مُساعدة محطّة فضائية. والوحدة القمرية التي وجبَ أن تُبنى من الألف إلى الياء، الأخفّ والأكثر أداء في وقت واحد من برنامج أبولو، كانت ستمثّل التجديد الوحيد. فهذا المشروع، بحسب شركة جنرال داياميكس، كانت ستنسجم بإرسال طاقمٍ إلى القمر في أجَلٍ قصير نسبياً (من 5 إلى 7 سنوات) بكلفة أقلّ من عشرة مليارات دولار. ومع ذلك، هذه التقديرات لم تُثِر اهتمام المسؤولين عن نازا. وفي نظرهم، فإن تكلفة تحسين شامل للأدوات الموجودة سترتفع تقريباً إلى تكلفة بناء جيل جديد من الآلات.

تهتمّ وكالات الفضاء الأوروبية واليابانية أيضاً بقمرنا، لكنَّ طريقتها مختلفة. فمشاريعها أكثر "حذراً" على المدى الطويل من مشاريع جنرال داياميكس. وإحدى النقاط الرئيسية لهذه المشروعات هي استخدام بعض المواد القمريّة في بيئتها، بتجنُّب نقلها من الأرض، وتقليل تكلفة العملية إلى حدٍّ كبير.

يحتلُّ الأكسجين بالتأكيد المكانةَ الأهمّ من بين هذه المواد، نظراً لنوعيَّته ثلاثيّة المزايا: وقود كيميائي للصواريخ، وغاز يُستنشَق، ومركَّب للماء. حين تحطُّ عربة مأهولة على القمر، يُشكِّل الأكسجين الضروري لرحلة العودة نِصفَ حجمها. واستخدام الأكسجين القمَريّ قد يسمح بتخفيف حمولة البِعثة إلى

النِّصْف، أو أيضاً بأن تنقل ضِعف الحمولة اللازمة مع جهاز الإطلاق ذاته. وهكذا قد تُقلِّل كثيراً كميّةَ الهواء المحمولة من الأرض لِضمان حياة الطاقَم.

تستشرف البرامج الأوروبية واليابانية مرحلةً أوَّلية تتضمَّن فقط استخدام المسابر الآليّة. وسيكون الهدف فهرسةً مُفصَّلة للثروات القمريّة، وانتقاء المواقع الأكثر إحكاماً لنشر أجهزة الإنسان الآلي. هذه المرحلة قد تدوم حوالي عشر سنوات. وفي مرحلة ثانية، ستقوم أجهزة الإنسان الآلي باستخلاص الأكسجين وعناصر مُهمّة أُخرى من أرض القمَر. وسوف تشتغل جزئياً بشكل آلي، بينما سيُشغِّلها تقنيُّون من الأرض بالتحكُّم من بُعْد، حيث يتعاظم حالياً انتشار هذه التقنيّة في التحكُّم من بُعْد، التي يُسهِّلها تطوُّر العلوم الألكترونيّة والأجهزة الآليّة، في أوساط قاسية على الإنسان. وسوف يتَّسِع نطاقُ استخدامها على القمر، لأنَّ الأوامر التي تنقلها إشاراتٌ راديوية تصِل إلى القمر خلال ما يزيد قليلاً عن الثانية فقط. وبالمُقابل، هذه التقنيّات لن تُطبَّق في حال المرِّيخ الذي يبعد أكثر من ثـ٧لاث دقائق ضوئيّة عن الأرض.

وخلال هذه المرحلة، سوف تُختبَر مُختلف تقنيَّات استخلاص الأكسجين القمريّ. لأنَّ الأكسجين، العنصر المُتفاعِل إلى الحدّ الأقصى، يوجد في التربة القمرية مُركَّباً مع عدّة معادن، على شكل أكسيد: سيليسيوم (تقريباً 40% من الحجم الكلّي)، وألومنيوم، وتيتانيوم، ومغنيزيوم، وحديد، وكالسيوم، إلخ. ونظراً للمزايا والعيوب التي تنطوي عليها كل طريقة مُقترَحة حتى الآن لاستخلاص العُنصر الثمين (الطرُق الكيميائيّة، والتحليل بالكهرباء، والانصهار الحراري)، ماتزال غير مدروسة كما ينبغي لكي تُجيز اعتماد واحدةٍ منها.

أمّا هدف المرحلة الثانية فسيكون التآلف مع التقنيّات القمريّة، وتطبيقاتها على مستوى نصف صناعي. وستكون هذه المرحلة ضرورية لتحضير إقامة الإنسان على سطح قمرنا. وقد كانت التعقيدات التدريجية لِمختلف عمليات التركيب تفرض، آجلاً أم عاجلاً، وجودَ عددٍ مُتزايد من روَّاد الفضاء على القمر.

وستكون عودة البشر خلال مرحلة ثالثة. وقِوامُ هدفها هو تطوير قاعدة قمريّة، مأهولة، في البداية، بطريقة مُتقطِّعة، ثمّ بصورة مُنتظمة أكثر فأكثر، وفي النهاية مُستمرّة.

القاعدة القمريّة

يُمثِّل سطح القمر محيطاً قاسياً جدّاً على عمل البشر وحياتهم. وضعف الجاذبية يُسهِّل بعض العمليات، لكنّ عمليات أُخرى كالجذب، تغدو أكثر صعوبة. وقد يُسبِّب تباين الضوء في المناطق المُشمِسة، والظلمة في المناطق المُعتِمة مُشكلات في الرؤية، عند البشر وفي بعض الأنظمة الآليّة: إذ يمكن أن تُشبَع كاشفاتُ الضوء فيها بالتعرُّض المفاجئ للشمس. والفراغ الكامل تقريباً يُمكِن أن يُغيِّر خصائص المعدّات: المواد السائلة على الأرض تتبخّر، بينما يتحوّل زيت المُحرِّكات إلى لاصقٍ لزِج. والفروق القصوى في درجات الحرارة تطرح كثيراً من المصاعب على الأنظمة الميكانيكية، وخصوصاً تلك التي لا بُدَّ أن تشتغل بشكل مُستمرّ. ووجود الغبار يُعقِّد كذلك العمليّات. فأكثر من نصف كتلة الريغوليت القمريّة متكوِّن من ذرّات ناعمة جدّاً، تكاد لا تُرى بالعين المُجرَّدة (بحجم أقلّ من عُشر المليمتر). هذه الذرّات تتسرّب من أقلّ تشقُّق، وتغزو الروابط الأكثر حمايةً، وتلتصق بالسطوح كلّها نتيجة كهربائها الساكنة. لذا فحماية الأجهزة وصيانتها في هذه الظروف تتطلّب جهوداً أكثر بكثير ممّا تتطلّبه على الأرض.

ومع ذلك، يتأتّى الخطر الأساسي في نظر رُوّاد الفضاء من الانفجار الذي تُسبِّبه جُزيئات الريح الشمسية، والإشعاعات الكونيّة على سطح القمر. فالطواقم الأميركيّة لم تَعِش إلا عِدّة ساعات على سطح القمر، أي ما يُعادل جرعة مُتلقّاة ضعيفة نسبيّاً. وعليه فإنّ إحدى الأولويّات ستكون حماية القاعدة القمريّة من هذه الجزيئات الضارّة. وقد اقُترحت عمليّات بناء متطورة وذات تكاليف باهظة، وذلك باستخدام نوع من الإسمنت المصنوع من تُربة قمريّة. وتهدف

المشروعات كلّها إلى تغطية عربات السكن بطبقة من الريغوليت القمري بسماكة متر أو مترين. واقتُرِح أيضاً استخدامُ المتفجّرات لتوسيع بعض الثقوب المحفورة في الأرض وتكوين قواعد حقيقية تحت الأرض من عِدّة طوابق. ومؤخّراً اقترح مهندس النازا، "فريديريك هورتز" تركيب هذه القواعد في مغارات ربّما شكّلها على القمَر سيْل اللابة المُنبثق منذ مليارات السنين. وبالفعل، تُظهر صُوَر سطح القمر بعض التشكيلات شديدة الشبَه بالقنوات. ولما لم يجرِ الماء السائل أبداً على سطح قمرنا، فرُبّما نتجت هذه التشكيلات من اللابة. مثل هذه المغارات ذات الأصل البُركاني توجد اليوم على الأرض، في بعض المناطق كأيسلندا، وهاواي. وهي تشبه بالأحرى أنفاقاً، نظراً لأنّ طولها يفوق كثيراً أبعادها الأُخرى. يبدو أنّ بعض هذه "القنوات" اختفى في صُور سطح القمر، وهي تدفع إلى التفكير بمغارات بركانيّة انهارت أرضيّتها. لئن بدا هذا الافتراض صحيحاً، فقد تُقدّم المغارات القمريّة موقعاً طبيعياً لتركيب قاعدة.

على المدى البعيد، سوف يكون أحد الأهداف الكُبرى لهذه المشروعات هو جعْلُ القاعدة مُستقلّة ما أمكن. وخلافاً لإقامة القواعد الأرضية في مُحيط غير ملائم، كما في القارّة المُتجمّدة الجنوبية، تظلُّ تكلفة نقل المواد من الأرض مُرتفعة دوماً. قد يُستخلَص الأكسجين، كما رأينا، من الريغوليت القمريّ. وقد يوجد الماء على شكل ثلج في عمق الفوّهات القطبية للقمر. وفق هذا الافتراض، المُقترَح سنة 1961، ربّما أتى الماء من تكاثُف ماء النيازك التي تتحطّم من وقتٍ إلى آخر على سطح كوكبنا. وفي البرد القارس لأعماق الفُوّهات القطبية، التي لا تتعدّى درجة حرارتها أبداً 50 كلفن، فقد يبقى الثلج محفوظاً إلى ما لانهاية. في سنة 1994، حلّق السابر الفضائي الأميركي "كليمانتين" فوق القطبين القمريّين. وتوحي الصُّور التي بثّتها راداراته بوجود ثلج في عُمق القطب الجنوبي؛ لكنّ كميّتها العامة رُبّما لا تُجاوِز 100000 طنّ. وإذا بدا تفسير مُعطيات "كليمانتين" صحيحاً، سيكون تزويد القواعد القمريّة الأولى بالماء مضموناً. وإلا فسوف ينبغي حمل الهيدروجين من الأرض ومزجه فوراً مع الأكسجين لتوليد

الماء. ثمّة إمكانية أُخرى قِوامها استخلاص الهيدروجين الذي تتركه الريح الشمسيّة على القمر. إذ إنّ كيلومتراً مُربّعاً واحداً يصدُّ كلَّ سنة ما يُقارب 100 غرام من مادّة قمرنا. هذا الفيْض غير المُنقطع للجُزيئات، وجزيئات الهيدروجين بشكل أساسي، زُرع، خلال مليارات السنين، في الريغوليت. ولا بُدَّ، لاستخلاصه، من تسخين تُربة القمر إلى عدّة مئات من درجات الحرارة.

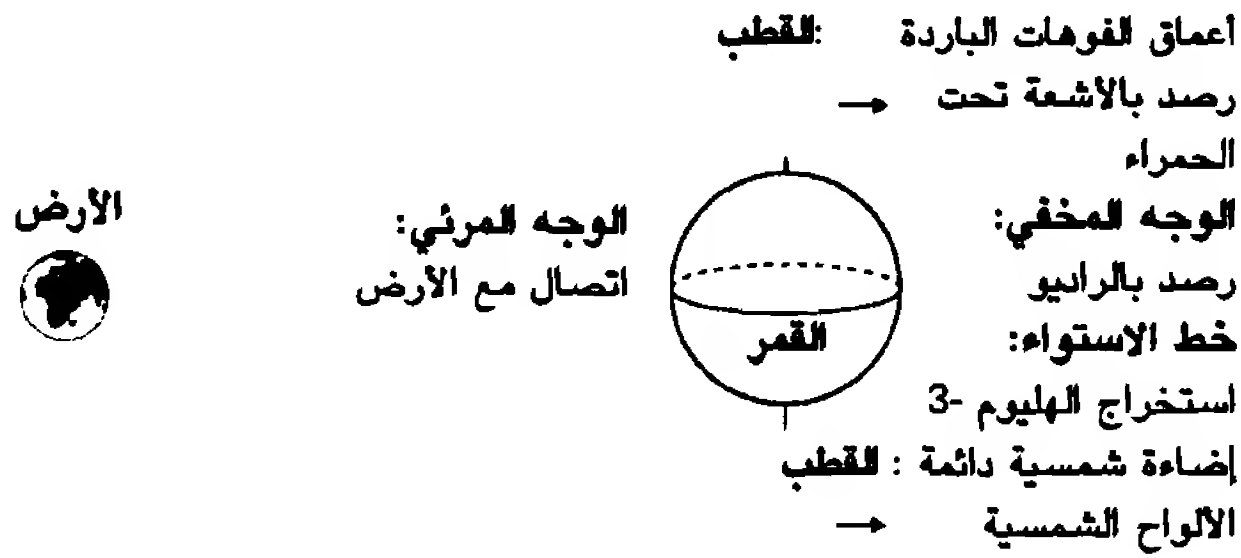
كذلك لا بُدّ للقاعدة القمريّة أن تضمن، على المدى الطويل، استقلالها الذاتي على مستوى الطاقة. في مرحلة أُولى، يُمكن لِمفاعلات نوويّة مُصغَّرة منقولة من الأرض أن توفِّر الطاقة الضروريّة. كذلك يُفكَّر باستخدام الطاقة الشمسيّة. ولن يطرح تجهيز الألواح الشمسيّة الضخمة كثيراً من المُشكلات، بِحُكم الجاذبية الضعيفة، والفضاءات الواسعة المتوفّرة، ووجود كميات كبيرة من السيليسيوم. فقد يُستخدَم هذا العنصر، وهو الأغزر بعد الأكسجين، في تجهيز واجهات زجاجية كبيرة. ومع هذا، لن يشتغل النظام خلال الليل القمَريّ الطويل، المُعادِل لأربعة عشر يوماً أرضياً. ينبغي إذاً، بُغية ضمان اشتغال مُستمِرّ، تركيب الألواح والقاعدة في القطب القمَري الذي يغمره ضوء الشمس باستمرار. فربَّما نستطيع، على المدى البعيد جدّاً، أن نصل إلى تجهيز من سطح القمر مع ألواح يكون واحد منها على الأقلّ مُعرَّضاً للشمس في كُلّ لحظة. وسوف يقوم نظام من الأقمار الصناعية المترابطة بنقل الطاقة إلى التجهيزات الأخرى.

لقد تمَّ التفكير في اختيار موقع قاعدة فضائية قمريّة، في وقتٍ مُبكِّر في تاريخ علم فلَك الفضاء، حتى قبل أن تُعتمد إمكانية رحلة إلى قمرنا. وهكذا كتب رائد علم فلَك الفضاء، الأميركي روبير غودّار، سنة 1920: "قد يكون أفضل موقع على القمر قُطبَه الجنوبي أو الشمالي، إذ يُمكننا أن نجد الماء المُتبلِّر في فُوّهات هاتين الناحيتين، واستخدامه للوقود" (بعد فصل

الهيدروجين عن الأكسجين) ... وربّما أمكننا أن نُجهِّز فيها وحدة لإنتاج الطاقة على جانبٍ مُعرَّض دوماً للشمس. طبعاً، ينبغي التفكير بحماية مُناسبة ضدّ المُذنَّبات، رُبّما بوضع الأجهزة تحت غطاء الصخور القمريّة". تبدو مُقترَحات "غودّار" هذه مُناسِبة تماماً اليوم. الشيء الأوحد الذي لم يحتَط له هذا المتبصِّر هو الخطر الذي تُمثِّله الجزيئات الطاقوية. فعلى الرغم من أنّ الإشعاعات الكونية اكتُشِفت سنة 1912 على يدِ النمساوي "فيكتور هيس"، لم يُكتَشف تأثيرها الضارّ في الجهاز العضوي للإنسان إلاّ في وقتٍ مُتأخِّر كثيراً، إثْر التفجيرات الذريّة في هيروشيما وناغازاكي.

تدفع التطوُّرات الراهنة للتكنولوجيا الحيويّة إلى التفكير بأنّ القاعدة القمريّة يُمكِن أن تكون مُستقلّة على صعيد التغذية. سيكون الهدف خلقَ طبقة جويّة حيويّة اصطناعيّة، أي فضاء مُغلَق حيث يتعايش عالما النبات والحيوان في دورة شبه مُغلَقة. هذا المُصطلَح مُستعار من الغلاف الحيوي للأرض، وهو وهي فضاء طبيعي أوسع بكثير يستخدِم الطاقة الشمسيّة. تهدِف التجارب الحاليّة إلى تكوين دورة مُغلَقة على نطاقٍ مختزَل: تتغذّى النباتات على فضلات الحيوانات، ومعادن التربة، وتكون بدورها غذاءً للحيوانات. وتنفُّس هذه الأخيرة يولِّد الغاز الكربوني الذي تمتصُّه النباتات ليحلّ محلّ الأكسجين الذي يُستخدَم من جديد لتنفُّس الحيوانات. في النهاية، وضمن نظام مثالي، يُصفَّى الماء المُستخدَم ويُضَخُّ من جديد في الدورة. هذه المبادئ قد تُطبَّق ليس فقط في المحطّات القمريّة، بل على جملة التجهيزات الفضائيّة القادمة، وتحديداً الأكثر بُعْداً. والحقّ أنّ هذه التقنيّات كلّما تقدّمت وأفضت إلى ضمان استقلال السكَن، غدا التفكير بتجهيز محطّات بعيدة عن الأرض أكثر فأكثر أمراً مُمكناً.

لا شكَّ في أن تحقيق هذه المشروعات في مُتناوَل المقدرات التقنيّة لحضارتنا. ورغم هذا، ستكون كلفتها باهظة، اللَّهُمَّ إلا إذا قامت ثورة في أنظمة النقل. ولا يبدو أنّ الفائدة العلمية للقمر كافية لتسويغ هذه النفقات.



الشكل 1-2. فائدة مواقع مختلفة على القمر للتجهيزات والمراصد القمرية (انظر النصّ).

طاقة الفضاء

إذاً يُمكِن أن تُسوِّغ العودة إلى قمرنا من خلال حاجتنا المُتعاظمة إلى الطاقة. فاستهلاكنا الحالي من الطاقة يصل إلى 10 تيراواط تقريباً (عشرة مليارات كيلوواط) لستة مليارات من سكّان الأرض. وهذا يتطابق مع مُتوسِّط أقل بقليل من 2 كيلواط لكلّ نسَمة. الاستهلاك في البلدان الصناعية المُتقدِّمة يبلغ ستة إلى عشرة أضعاف الاستهلاك في البلدان النامية. وعلى الرغم من كل التكهُّنات المُحتمَلة، فأغلب السيناريوهات الراهنة تتوقّع ازدياداً مُطّرداً لسكّان العالَم، الذي لا بُدَّ أن يبلغ عشْرَة إلى اثني عشر مليارَ نسَمة في نهاية القرن الحادي والعشرين. قد يؤدّي هذا إلى ازدياد كبير في استهلاك الطاقة، ناتج بالتحديد عن التصنيع التدريجي للبلدان النامية. وحتى لو توصّلت الدول الصناعية إلى التحكُّم جِدياً بنفقاتها على الطاقة، فلا بُدّ أن يُجاوِز الاستهلاك العالمي 25 تيراواط خلال النصف الثاني من القرن القادم.

لا ريب في أنّ احتياطات المحروقات العضويّة (الكربون والنفط)، بحسب التقديرات الراهنة، يُمكن أن تكفي أيضاً قرناً أو قرنين من الزمن، واحتياطات اليورانيوم لفترة مُضاعَفة. هذه التقديرات لا تأخذ بالحُسبان المواقع المعروفة

سلَفاً وحسب، بل المواقع الممكنة أيضاً. أكيد، يقتضي الواجب أن نحذِّر دوماً من الاستنتاجات على المدى الطويل، التي كذَّبها الماضي مرَّاتٍ كثيرة. إذ يتعلَّق الأمر دوماً بمصادر لا تُجدَّد، مُعرَّضة للاختفاء عاجلاً أم آجلاً. والمُقلِق أكثرَ أيضاً، مع ذلك، الآثار المترافقة مع استخدام هذه المصادر. حيث يبعث احتراق الكربون والنفط غازاً كربونياً، غازاً له أثر احتباس حراري يسهم في ارتفاع حرارة الأرض من جهة ثانية، فإن حادثة تشيرنوبيل عام 1986، والمشكلات الراهنة لِمعالجة النفايات النوويّة، توضّح جيداً مخاطر استخدام الطاقة النووية وحدودَها.

تُقدِّم الطاقة الشمسية بديلاً مُغرياً. فكل متر مُربَّع من سطح الأرض يستقبل 1.4 كيلوواط من هذه الطاقة التي لا تستنفد (على مستوى عِدّة مليارات من السنين)، أي تقريباً ما يُعادل متوسِّط استهلاك الفرد اليوم. بعد عدّة سنوات من البحث، تحققت تطوُّرات مُهمّة في كسب أنظمة تحويل الطاقة الشمسيّة إلى كهرباء، وفي سهولته، وأسعاره. ومع ذلك، لا يستطيع مصدر الطاقة المُتجدِّدة هذا أن يُغطِّي احتياجاتنا كلّها. فهو مُقسَّم بطريقة غير مُتساوية أبداً (مُفضِّلاً الارتفاعات المُنخفضة)، ممّا لا يجعله متوفِّراً إلا نصف نهار (في أفضل الأحوال)، وهو مُمتدّ إلى حدٍّ أقصى يتطلَّب مساحات جامعة هائلة. على سبيل المثال، تلزم مساحة جامعة بمساحة "الحوض الباريسي" Ile-de-France لتأمين استهلاك مدينة مثل باريس.

سبق أن أشار قسطنطين تسيولكوفسكي، في نهاية القرن، إلى استخدام الطاقة الشمسية كمصدر للكهرباء في الفضاء. وإذ استأنف عالِم الفيزياء الأميركي "بيتر غلاسر" هذه الفكرة، لاحظ عام 1968 أن الفضاء يوفِّر إمكانية نشر ألواح شمسية واسعة. ومن الممكِن أن تتحوّل الطاقة المُجمَّعة إلى حُزمة من المويجات الموجَّهة صوبَ هوائي مُجمِّع على الأرض. وسيكون الجهاز المركزي موضوعاً في مدار أرضي مُستقِرّ، على ارتفاع 36000 كيلومتر فوق خط الإستواء. على هذا الارتفاع، يدور قمر صناعي حول الأرض خلال 24

ساعة، مما يسمح له بأن يكون مرئياً باستمرار من النقطة نفسها على الأرض. وقد درست النازا، وقسم الطاقة الأميركية، في نهاية السبعينيات، فكرة إنشاء محطة طاقة شمسية فضائية. كان المشروع الأساسي يخصُّ مساحة 54 كيلومتراً مربّعاً تُجمِّع 75 جيغاواط (75 مليون كيلواط) من الطاقة الشمسيّة. هذه الطاقة سيُرسلها إلى الأرض، بعد تحويلها إلى مويجات، هوائي مُرسِل قطره 1 كيلومتر، مُركّب فوق المحطة أيضاً. وعلى الرغم من ضعف تحويل حُزمة المويجات، يتطلّب صدُّها على الأرض هوائي مُستقبِل من حوالي 100 كيلومتر مُربّع. ولِكون المحصّلة الشاملة لكلّ عمليّات الإرسال والتحويل أقلّ من 10% ، في النهاية ستُحصّل 5 جيغاواط فقط.

تُقارِب كتلة محطة الطاقة 50000 طنّ، وهي تعادل حاملة طائرات حديثة. وسيكون من الضروري تأمين 500 صاروخ مثل إينيرجيا، الصاروخ الحالي الأكثر استطاعة، لوضع هذا الجهاز في مدارٍ مُنخفِض، على بُعد 500 كيلومتر تقريباً من الأرض. وستتمّ عملية تجميع تمهيدية على هذا الارتفاع. ثُمَّ ستُقذَف كافة العرَبات حتى المدار الأرضي المستقر للمحطّة حيث سيتمّ التجميع النهائي. وقد يستلزم تعقيد هذه العمليّات بالتأكيد تدخُّل روّاد الفضاء، بِحُكم أنَّ آليتها الكاملة لم تكُن مُتصوَّرة في السبعينيات. ويُمكِن لِستِّين وحدة من هذا النموذج أن تُغطي كلياً احتياجات الطاقة في الولايات المتَّحدة الأميركية. وقد ترتفع تكلفة نشرها إلى ما يُقارب التريليون من الدولارات، على الأقلّ عشرة أضعاف تكلفة برنامج أبولو. وبحسب دراسة قامت بها وكالة نازا، لا يكاد توزيع الكهرباء على الشبكة، بالأسعار المرعيّة آنذاك، يكفي لتسديد تكاليف العمليّة. الموقف مُختلف قليلاً اليوم، لأننا نستطيع بناء ألواح شمسيّة أخفّ بكثير مما كانت عليه في السبعينيات. وبالمُقابل، من المُحتمَل أن يسمح علم الروبوتيات بأتمتةِ كامل العمليّة. ومع ذلك، يعاني هذا النوع من المشروعات من عيب كبير على المستوى الاستراتيجي: الحساسية القصوى لكُلّ تجهيز فضائي، وكونه تحت رحمة التدمير بالصواريخ. فأن نضع "بيضنا من الطاقة" كلّه في السلّة الفضائية

نفسها، يكوِّن استراتيجية انتحاريّة. هذه المشروعات لن تكون واقعيّة إلا في شروط سلامٍ وأمن عالميَّين مضمونَين على المدى البعيد.

إنَّ بناء محطة شمسية في الفضاء، بمعزل عن المظاهر الاستراتيجية، عمليّة ثقيلة للغاية: فنقل وتجميع هذه الكميّة الهائلة من الموادّ يُجاوز قدراتنا التقنيّة الراهنة. لِتفادي هذه المصاعب، أوحى مهندس النازا "داف كريزوِل" ببناء المحطة على القمر، مُستخدِماً موادّ قمرنا. فميزات سطح القمر لِهذا النموذج من المشاريع معروفة جيِّداً: جاذبية ضعيفة، تَوفُّر فضاءات واسعة وكميّات كبيرة من السيليسيوم ومعادن أُخرى. وتتجلّى العيوب كبيرةً جدّاً مع ذلك. فللاستفادة من إضاءة مُستمرّة، يلزم إمّا محطة على وجهَي القمر، وإمّا محطة واحدة تُنصَب على أحد القُطبين القمريَّين. حينئذٍ، تتأتّى الصعوبة من تحويل الطاقة المُجمَّعة بين المحطة القمرية والأرضية. فكوكبنا دائماً غير مرئي من الوجه المخفي، وبعض المناطق، لا تُرى، مؤقّتاً، بسبب حركات ترنّح القمر (حركات نوَسان بسيطة حول محور دورانه). إذاً ينبغي حينذاك تحويل الطاقة المُلتقَطة إلى قمر صناعي رابط في مدار حول - القمر يحوِّله بدوره صوب قمر صناعي في مدار مُستقِرّ، فهو وحده القادر على رؤية النقطة ذاتها من كوكب الأرض. وقد يُخفِّض تعدُّد الأجهزة المُحصِّلة العامّة للنظام ويتطلّب مساحات مُجمَّعة كبيرة إلى الحدّ الأقصى. وعلى العكس، ربَّما لن يتجنَّب المشروع بناء ألواح شمسيّة ضخمة في فضاء الفلك الأرضي (لِتعويض الطاقة التي يُحوِّلها القمر الصناعي حول القمري)، خلافاً لهدفه الأوّلي. وقد تُجاوِز تكلفته بكثير التريليون دولار ...

الفائدة الصناعية للقمر

تنتج صعوبة نقل المواد من الأرض إلى الفضاء وتكلفته من قوّة الحقل المغناطيسي لكوكبنا. وللتحرُّر منه يجب بلوغ سرعة 11.2 كم/ثا، تقريباً 40000 كم/سا. بينما لا تلزم إلا سرعة 2.4 كم/ثا للإفلات من الجاذبية الضعيفة للقمر،

أي بسرعة أقل خمس مرّات تقريباً. وفي وضع القمر، تبدو الطاقة الضرورية، المُتناسبة مع مُربّع السرعة، أقلّ بعشرين مرّة من وضع الأرض. ثُمَّ إنَّ سهولة إفلات الأشياء من تأثير جاذبية قمرنا توحي بأنّ من الأفضل أن نستخدم بالأحرى، لأبنيتنا الفضائية، موادّ قمريّةً، لا موادّ من كوكبنا. هذا يتّصل بالتجهيزات في الفضاء حول الأرضي مثلما يتصل بالتجهيزات في الغلاف حول القمري. والواقع أنّ من السهل التنقُّل حين نكون بعيدين عن بؤرةِ جاذبيّةِ النجم: "فاتورة" الطاقة ضئيلة جدّاً (إلا إذا كُنا مستعجلين لبلوغ الهدف، وفي هذه الحال يجب صرف كثير من الطاقة لزيادة السرعة. ولا يلزم أكثر من إضافة 24 كم/ثا للمادة الخارجة من جاذبية القمر لتوضَع في المدار الأرضي المُستقِرّ.

يوفِّر غياب الغلاف الجوِّي حول القمر ميزةً هامّةً أُخرى: حين لا يكون هناك احتكاك مع الهواء، لا توجد لا طاقة ولا تسخين. وعلى الأرض، لا تبلغ الصواريخ سُرعتها القصوى إلا في الطبقة العُليا من الغلاف الجوِّي الذي تولِّد كثافته الضعيفة احتكاكاً ضئيلاً. في كتاب "*من الأرض إلى القمر*" لـ"جول فيرن"، كان روّاد *الفضاء الذين أطلقهم مدفع "كولومبياد" المشهور، سيحترقون*، وهم ينزلون بسرعة *11.2 كيلو متر/في الثانية، في الغلاف الجوِّي الأسفل*. ويوجد هذا *الخطر كذلك ساعة العودة إلى الغلاف الجوِّي لكوكبنا: نجا روّاد أبولو 13*، في *آخر لحظة*، عند عودتهم سنة *1970*.

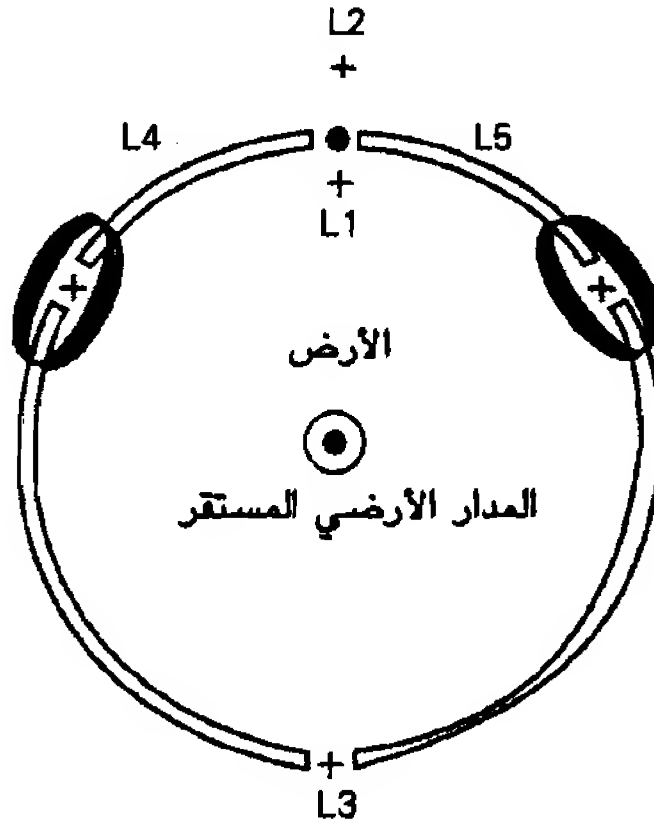
كان كاتب الخيال العلمي الإنكليزي "آرثر س. كلارك" أوّل من أدرك أهميّة هذه الاعتبارات. إذ يقترح، في مقالة منشورة سنة 1950، جهازاً منصوباً على سطح القمر، يقذف بالمنجنيق حمولات في الفضاء بسرعة 2.4 كيلومتر في الثانية. هذه الحمولات قد تتحمّل، خلال بضع ثوانٍ، تسارُعاتٍ من مئة ج(*) (تسارُع الثقالة على سطح الأرض). طبعاً، لن يُستخدَم هذا الجهاز لقذف البشر، لأنَّ نظامنا العضوي لا يتحمّل تسارُعاً أعلى من عدّة وحدات جذْب عام (ج).

(*) ج = ثابت الجذب العام، وقيمته 9.8 نيوتن بالمتر المربع (المترجِم).

منجنيق كلارك أشبه بسِكّة حديد، سُكّتاه ممدودتان على الأرض لمسافة عِدّة كيلومترات. حيث تتسارع حاويات معدنيّة بفعل الحقل المغناطيسي المتولّد من أجهزة كهرمغناطيسية مُركّبة على طول المسافة. في نهاية المسافة، ستتباطأ الحاويات، مُلقِيَةً محتواها في الفضاء. بعد يومين من الطيران على مسار محسوب قبلاً بـ 65000 كيلومتر، تصل الحمولة إلى وِجهتها المؤقّتة : وحدة موضوعة في مكان استراتيجي، "نقطة لاغرانج" L2 من مجموعة الأرض ـ القمَر.

في عام 1772، بيّن عالِم الرياضيات "جوزيف لويس دو لا غرانج" أنّه يوجد في منظومة مُكوّنة من جسمين (كجسم الأرض وجسم القمر) خمس نقاط حيث تتلاغى القوى الجاذبة والقوى النابذة التي تتفاعل فيها. ثلاثٌ من هذه النقاط تقع على محور المنظومة : توجد نقطة L1 بين الجسمين، بينما النقطتان الأُخريان (L2 وL3) تقفان في الخارج، وتدوران حول مركز جاذبية المنظومة في وقت دوران الجسمين نفسه. وأخيراً، النقطتان الأخيرتان (L4 وL5) تُشكّلان مُثلّثاً مُتساوي الساقين مع الجسمين. وكلّ شيء واقع بين هذه النقاط يظلّ ثابتاً باستمرار، في الوضع نفسه بالنسبة إلى المنظومة (انظر الشكل 3.1). سوف نُلاقي من جديد نقاط "لاغرانج" هذه فيما يلحق من هذا الفصل. توجد النقطة L2، الواقعة على محور الأرض ـ القمر، دوماً على مدار قمريّ مستقِرّ، دوماً على المسافة من نقطة مُعيّنة على سطح القمر. إذاً يمكن للقانف المنجنيقي دوماً الوصول إليها، من دون الحاجة إلى تعديل مسار المقذوف تبعاً لدوران القمر أو المُستقبِل. لاحقاً، ستعبر المواد المقذوفة عبر "اهتياج الفضاء" هذا باتّجاه مدار حول ـ أرضي، أو صوب مكان آخر من منظومة الأرض ـ القمر.

يُقدّم القانف الكهرمغناطيسي الذي تصوّره "كلارك" ("اللونارتون" lunarton، بحسب تسميته له سنة 1950)، حلّاً لطيفاً لانتزاع أشياء من الجاذبية القمرية بتكلفة قليلة من الطاقة. إذ إنّ مُفاعِلاً شمسياً يُنصَب على القمر، ويُقدّم مساحةً مُجمّعة يساوي ضلعها 100 متر، ويُسجّل مردوداً بنسبة 30%، يُمكن أن



الشكل 1-3. وضع نقاط "لاغرانج" الخمسة في منظومة الأرض ـ القمر. المدار الأرضي المستقر، على ارتفاع 36000 كيلومتر فوق خطّ الاستواء الأرضي، مرسوم بمقياس معين. تقع النقاط L1 وL2 وL3 على محور الأرض ـ القمر وتُمثّل أوضاع توازُن غير مُستقِرّ: يكفي اختلال بسيط كي يبتعد عنها جسم واقع في هذه النقاط. أمّا النقطتان L4 وL5 فهما مُتساويتا البُعد عن الأرض وعن القمر، وتُمثّلان أوضاع توازُنٍ مُستقِرّ: فالجسم الواقع في جوارهما يبقى في موقعه دوماً، حتى لو خضع لاضطرابات بسيطة.

يوفِّر الطاقة الضرورية لقذف كيلوغرام واحد في الثانية، أي حوالي مئة طَنٍّ في اليوم الأرضي، أو ألف طَنّ في اليوم القمري. وفق هذا الإيقاع، قد توضَع المواد الضرورية لبناء التجهيزات الفضائية الضخمة (كمُفاعِل شمسي)، في المدار في أقلّ من سنة. ولا يبدو أنَّ ثمَّة مشكلات جوهرية لِعمل القاذف الكهرمغناطيسي "اللونارتون". حتى إنَّ عالِم الفيزياء "جيرالد أونيلْ" بنى نماذج تجريبية صغيرة سنة 1970 في جامعة برنستون. لقد خضعت الحمولات لِتسارُعات من عدّة "ج" وبلغت سرعات نهائية مقدارها 400 كيلومتر/ساعة، أي واحد على عشرين من سرعة الإفلات من سطح القمر. وينبغي التشديد على أن الدقّة المطلوبة لِمسار الحمولة المقذوفة دقّة خارقة. فالرغبة في إصابة هدف قطرُه حوالي عشرة أمتار على مسافة 65000 كيلومتر، تُساوي التصويب على قطعة نقديّة من مسافة 10 كيلومترات. غير أنَّ هذه النتيجة القياسية في مُتناول قدراتنا اليوم.

وعلى افتراض أنَّ القاذف الكهرمغناطيسي ممكِن التحقيق، فما عسى أن تكون الموادّ الأكثر أهميّة للاستخلاص من التربة القمرية؟ الخيار الواضح يقوم على الأكسجين، من أجل ميزاته كلّها التي أشير إليها سابقاً، ويقوم الخيار كذلك على السيليسيوم لِبناء الألواح الشمسيّة. وقد تكون الموادّ الخفيفة، كالتيتانيوم، والألومنيوم ثمينة في بناء التجهيزات الفضائية. هذه العناصر كلّها موجودة بغزارة في الريغوليت على شكل أكسيد. ومع ذلك، فهي لا تتراكم في عروق معدنيّة كالمعادن الأرضية. فكثافتها الضعيفة في التربة القمريّة تجعل تجميعها صعباً.

على مدىً بعيدٍ جداً، يمكِن أن يبدو عنصرٌ آخر المنبعَ الأكثر فائدة في قمرنا. فذات يوم، قد يُسهِم الهليوم ـ3 (^3He)، وهو نظير خفيف لا يوجد على كوكب الأرض، في حلِّ مشكلات الطاقة في كوكبنا بتغذية مُفاعِلاتنا العاملة على الاندماج الحراري النوويّ.

ومبدأُ الاندماج الحراري النوويّ سهلٌ: لكي تستطيع النُّوى التغلُّب على تنافُرها الكهربائي الساكن المُتبادَل، يجب أن تمتلك شحنات كهربائية ضعيفة (مما يتطابق مع نُوى خفيفة)، وسُرعات مرتفعة. هذا الشرط الثاني يتضمَّن وسَطاً حارّاً جداً ـ البلازما ـ يبلغ عشرات الملايين من الدرجات. يتِمّ الحصول على درجة الحرارة هذه في قنابل الاندماج النوويّ من خلال التفجير الأوَّلي لقنبلة انشطارية. أمَّا النجوم (التي تُكوِّن وحدَها "المُفاعِل" الحراري النووي المعروف حتى الآن) فتتوصَّل إلى الاحتفاظ بالبلازما الخاصة بها الحارّة بِفضل قوَّة الجاذبية التي تُتاخِم موادّها.

في مُفاعل اندماجي أرضي، لا يُمكِن أن يحصر إلّا حقل مغناطيسي، لأنَّ أيَّ معدن صُلْب سيتبخر بِملامستها. والحال أنه من غير المُمكِن حالياً احتواء البلازما بدرجات حرارة الاندماج إلا خلال جزء صغير من الثانية. والطاقة التي تُستخلَص خلال هذه المدّة القصيرة أقلّ من الطاقة التي تُستهلَك لتسخين

البلازما. وعلى الرغم من الجهود المُطوَّرة خلال أربعين سنة في عدّة بُلدان في العالَم، فلم يتِمّ ضبط الاندماج المضبوط بعدُ. والمشكلات المواجَهة حالياً كبيرة ولا تسمح بتحديد تاريخ لتشغيل أوّل مُفاعِل حراري نوويّ. واستناداً إلى تجربة الأربعين سنة الأخيرة، لن يتِمَّ هذا قبل عقدين أو ثلاثة عقود.

إنَّ فائدة الاندماج بوصفه منبعاً للطاقة فائدة مُضاعَفة. فالوقود اللازم رخيص إلى حدٍّ أقصى من جهة، لأنّه موجود بغزارة في الطبيعة. كما أنَّ محيطات الأرض تختزن تريليونات الأطنان من الدوتيريوم (D)، نظير الهيدروجين الذي قد يُستخدَم وقوداً لِمفاعلات الاندماج (احتياطات الهيدروجين أكبر عشرات المرّات، لكنَّ التفاعُل بين نُواه أبطأ بكثير من أن تكون نافعة). ومن جهةٍ أُخرى، فإن نواتج الاحتراق ليست مُشعّة، ولا تطرح المشكلات الخطيرة لنفايات الانشطار النووي. ومع ذلك، يثير تشغيل المُفاعل باندماج الدوتيريوم مشكلة خطيرة نوعاً مّا. ففي الأشكال "التقليدية" للاندماج الحراري المُجرَّب حالياً في المُختبَر، تندمج نُوى الدوتيريوم بالفعل فيما بينها أو مع نُوى نظير آخر خفيف من الهيدروجين، هو التريتيوم. وحوالي نصف الطاقة الناتجة عن هذه التفاعُلات تحملها نيوترونات. هذه الجُزيئات المحايدة كهربائياً لا يُمكن أن يُقنّنها الحقل المغناطيسي، وتصطدم بِجدار المُفاعِل، ممّا يجعلُه مُشِعًّا على المدى البعيد. وعلى العكس، يُنتج تفاعل $D + {}^{3}He$ قليلاً من النيوترونات: فهي تحمل أقلّ من 2% من الطاقة المُستخلَصة. ومن ثَمَّ تأتي فائدةُ هذا النظير لاستراتيجيتنا في الطاقة على الأمد البعيد.

لا يوجد الهليوم-3 على الأرض. حيث لم تستطع الجاذبية الضعيفة لكوكبنا أن تحتفظ بهذا النظير الخفيف، الذي انتشر في الفضاء. ولم تحتفظ الأرض بالهيدروجين والدوتيريوم، الأخفّ من الهليوم-3 مع ذلك، إلا بفضل تفاعُلهما الكيميائي، مُركَّبَين مع الأكسجين في جُزيئات الماء الثقيلة. فالهليوم، قليل الإشعاع كيميائياً، لا يتفاعل بسهولة مع المواد الأُخرى. ولحسن الحظّ، تحتوي

الشمس على كميّات كبيرة من الهليوم -3: حوالي نواة من الريح الشمسيّة من مئة ألف تنتمي إلى هذا النظير. وقد زرع تفجير الأرض القمرية خلال مليارات السنين في الريغوليت كميات كبيرة من الهليوم-3. وتحتوي المواد التي نقلها روّاد فضاء بعثة أبولو، والمسابر السوفييتيّة "لونا"، وسَطيّاً، على عدّة ميكروغرامات (جزء من مليون من الغرام) من الهليوم-3 في الكيلوغرام. هذه المواد تأتي من الوجه المرئي لقمرنا، الذي يتلقّى الريح الشمسية، بشكل أساسي، حين يكون مُقابل الشمس. حينئذٍ يكون في "ذنَب" الطبقة الجوية المغناطيسية للأرض، ويحميه جزئياً الحقل المغناطيسي الأرضي الذي يحرِف جزيئات الريح الشمسيّة المشحونة. وهكذا، يستقبل الوجه المرئي أقلّ من ثلث الجزيئات التي تصل إلى الوجه المخفي غير المستفيد من هذه الحماية. من جانبٍ آخر، تكون كثافة الريح الشمسيّة أعلى في المناطق الاستوائية للقمر منها في المناطق القطبيّة (للسبب نفسه وهو أنَّ الشمس تُدفّئ أكثر في خطوط العرض الأرضية المنخفضة). وتتضمّن هذه الاعتبارات مردوداً من استخلاص الهليوم-3 أعلى إذا كان المصنع موجّهاً إلى خطّ استواء الوجه المخفي للقمر (الشكل 1-2).

نظراً لانخفاض محتوى الهليوم-3 في تراب القمر، يجب معالجة كميات كبيرة من الريغوليت للحصول على كمية هامّة من النظير الثمين. وهذا يتضمّن حفر مساحات واسعة من سطح القمر، لأنَّ الريح الشمسيّة لا تخترقه في العُمق. للحصول على 10 كيلوغرامات من الهليوم-3، يجب مُعالجة ما يقرب من مليون طَنّ من الريغوليت، على مساحة كيلومتر مُربَّع تقريباً. كما يتطلّب استخلاص مئات الأطنان من الهليوم-3 اللازم لحاجاتنا من الطاقة على الأرض، حفْرَ عشرات الآلاف من الكيلومترات المُربَّعة من سطح القمر. يُمكِن أن تُنقَل هذه الكميّات إلى الأرض بمساعدة قاذف كهرمغناطيسي أو بوسائل نقل أكثر اعتيادية. وتكلفة العمليّة عالية، لكنَّ الاستثمار سيكون، على المدى البعيد، مُربحاً. والواقع أنَّ السِّعر الحالي للطاقة التي يُنتجها تذويب طَنّ من الهليوم-3 (طاقة مُحصَّلة اليوم

بوسائل أُخرى) يبلغ حوالي 15 مليار دولار. وتُعتبَر كميّة الهليوم-3 القمريّة كافية لتلبية حاجات حضارتنا خلال الألفيّة أو الألفيَّتين القادمتين.

ومع ذلك، إذا صار الاندماج المضبوط ذات يوم واقعاً، وإذا بدا الهليوم-3 وقوداً هامّاً من الناحية الاقتصاديّة، فإنَّ السطح المخفي لقمرنا مُعرَّض لأن يصير على المدى البعيد حُفرة شاسعة حفرتها جرّافاتنا. قد يُعدُّ كتاب الخيال العلمي "جمهورية سُكّان القمر" الذي كتبه السكوتلندي "كريستوفر ماكنزي" بارزاً في هذه النقطة: *حين يرتحل البشر إلى القمر في نهاية القرن العشرين، سيفهمون أنَّه إذا ما كان لقمرنا سطح قاحل مملوء بالفوّهات، فذلك عائد إلى كائنات "عاقلة" سكنته قديماً، ووجدت بقاياها البائسة ملاذَها في فُوَّهات الوجه المخفي منه...*

الفضاء، منطقة نشاطات اقتصادية

كان للبرامج الفضائية في الستينيات قيمة الرمز، قيمة تأكيد التفوُّق الوطني على صعيد التقنية المتطوِّرة. لكنْ في سبعينيات القرن العشرين، تغيَّر الموقف تغيُّراً عميقاً: ففيما وراء البحث العلمي والتطبيقات العسكرية، يتَّصل جزءٌ مُتعاظمٌ من البرامج الفضائية في الفضاء حول الأرضي بنشاطات ذات طابع اقتصادي.

أوَّل فئة من هذه النشاطات تشكِّل الآنَ جزءاً من حياتنا اليومية: إذ يتعلَّق الأمر بتحويل فيض المعلومات المُتعاظمة بشكل هائل عبر الأقمار الاصطناعية للاتّصالات من بُعد، والملاحة ورصْد كوكبنا. تشغل أقمار الرصد الاصطناعية بشكل عام مدارات مُنخفضة، على ارتفاع عدّة مئات من الكيلومترات، وتدور حول الأرض عدّة مرّات في اليوم. وتُحلِّق عدّة أقمار اصطناعية في مدار أرضي مُستقِرّ فوق المنطقة نفسها من الأرض. وغالباً ما ننسى أنَّ "آرثر. سي. كلارك" شدَّد على فوائد المدار المُستقِرّ للاتِّصالات، في نهاية الأربعينيات. واليوم يُستخدم هذا المدار إلى درجة نخشى معها أن يصير مُشبَعاً على المدى الطويل.

في المستقبل، يُمكن أن تأخذ فئتان من النشاط الاقتصادي في الفضاء القريب دوراً هاماً. تتصل الأولى، المعروضة في قسم سابق، بالتموُّن بالطاقة عبر مُفاعلات شمسية في مدارٍ أرضي مُستقِرّ. وتتعلّق الثانية باختراع مواد بخصائص متميِّزة، من الصعب أو من غير المُمكِن إنتاجها على الأرض. فالفضاء يوفِّر شروطاً مثاليّة لهذا النمط من النشاطات: فراغ كامل تقريباً وغياب للجاذبية (عائد إلى أنَّ الأشياء كُلَّها "تسقط" بالطريقة نفسها في حقل الجانبية الأرضية: ومع ذلك، ونتيجة حركاتِ الحاوية الفضائيّة (الكبسولة)، توجد موضعياً جانبية صُغرى، أقلّ بمئة مرّة من الجاذبية الأرضية). كما يُهيِّئ الفراغ إنتاجَ طبقاتٍ رقيقةٍ جدّاً من أشباه الموصِلات الكهربائية (أجهزة لا غنى عنها في تشغيل الحواسيب وغيرها). وتسمح الجاذبية الصُّغرى بتطوير بِلّورات كاملة تقريباً تهمُّ الصناعة كثيراً. ومن جهة أخرى، يُعدِّل إلغاءُ الحمْلِ الحراري في الجاذبية الصغرى طريقة اشتعال محروق كيميائي؛ إذ إنَّ دراسة الاشتعال في شروط مثالية قد تُطوِّر معارفنا حول هذه الظاهرة المُعقّدة وتسمح بتحسين أداء مُحرِّكاتنا على الأرض.

لقد أُجريَت عِدّة تجارب من هذا النوع في الفضاء خلال السنوات العشرين الأخيرة. ومع ذلك، لم يُثمِر أيُّ تطبيق ذي أهميّة. وقد انسحبت عِدّة شركات صناعيّة من هذه الأبحاث بعد أن أبدت حماسةً أوّلية. وليس هناك، في الوقت الحالي، أيُّ مشروع جدِّي للاستثمار في هذا النوع من البرمجة. سببُ ذلك طبعاً هو تكلفتُها المُرتفعة. فالتجارب في المدار تُكلِّف حالياً بين 20000 و 100000 دولار لكل كيلوغرام من طاقم العِدّة، بحسب الأنظمة الآليّة أو المأهولة المُستخدَمة. تزِن هذه العِدّة بضع عشرات من الكيلوغرامات، ولا توفِّر زيادةَ سوى بعض الغرامات من المُنتَج، ممّا يرفع تكلفة الكيلوغرام الواحد من المواد المُنتَجة في المدار إلى مليون دولار.

والتكلفة المُرتفعة للوصول إلى المدار هي العدوّ الرئيسي لكلّ تطوير في

صناعة الفضاء (وعموماً لكلّ نشاط هامّ في الفضاء). والأسعار الحاليّة غير مُشجِّعة للاستثمار المُربِح، طويلِ الأمد. والحال أنَّ من الصعب الوصول إلى بناء القاعدة التحتية الضرورية من غير رؤوس الأموال الخاصّة؛ لأنَّ الأموال العامّة تزداد نُدرة في الظرف الراهن.

يرى بعضهم أنَّ صناعة السياحة يُمكِن أن تُحطِّم هذه الحلقة المُفرَغة. وقد سبق أنّ البارون "هيلتون" كان يُفكِّر سنة 1967 ببناء فنادق من السلسة المشهورة في الفضاء القريب، مع نهاية القرن. وبعد فترة وجيزة، كانت شركة "بانْ آمْ" تعتزم القيام برحلات في المدار حول الأرض على متْن طائرات صاروخية.

واليابانيُّون هم وحدَهم الآن أوَّل الذين يُقدِّرون جِدّياً أهمية هذه المشاريع. ففي نهاية الثمانينيات، كشفت شركة "شيميزو"، وهي أضخم شركة بناء في العالَم، عن أوَّل مُجمَّع فُندُقيّ فضائي. يحتوي المُجمَّع على 64 غُرفة موضوعة على حلقة قطرها 140 متراً. تدور الحلقة حول مِحورها ثلاث مرَّات في الدقيقة، لكي تخلُق ثِقلاً اصطناعياً من خلال القوّة النابذة. ويزن المُجمَّع حوالي 7000 طَنّ، وسيُكلِّف بناؤه المُرتقَب في العام 2030، في مدار مُنخفِض، حوالي مئة مليار دولار. من جملة النشاطات المُقترَحة رصْد كوكبنا وتصويرُه، والمسير في الفضاء، وممارسة ضروب من الرياضة الطريفة مع انعدام الجاذبية بالقُرب من مِحور الحلَقة، وحفلات زواج في المدار. ومن المؤكّد أن إيجاد بضعة آلاف من الأشخاص الراغبين في دفع 10000 أو 20000 دولار لقضاء ليلة في فُندق الأحلام هذا ليس صعباً.

ما نزال الآن بعيدين عن تحقيق هذه المشاريع المُستقبليّة، غير أنَّ البناء القادم للمحطة الفضائيّة يُمكِن أن يُعطينا عنها شعوراً مُسبَّقاً. مشروع نازا هذا، الذي عُدِّل، وغُيِّر اسمه ألف مرّة طيلة الاثني عشر عاماً الأخيرة، كان ينبغي أن يبدأ سنة 1998. حيث ستكون خمسون جولة للمكّوك الفضائي والصواريخ الروسية واليابانيّة

والأوروبية ضرورية لتضع في المدار آلات أضخم بناء فضائي تحقّق حتى الآن. سوف تزنُ المحطة 400 طَنّ، ويمكنها أن تؤوي بشكل دائم طاقماً من ستة أشخاص في حُجراتها المصنوعة من الألومنيوم، وهي أسطوانات بطول 9 أمتار، وقطر 4 أمتار. تُقدّر تكلفة بناء المحطّة، التي كان ينبغي إنجازها سنة 2003، بخمسين مليار دولار، بما فيه اشتغالها خلال السنوات العشر اللاحقة.

في بداية القرن الحادي والعشرين، تكون المحطة الفضائية الدوليّة بالتأكيد المشروع الأعلى تكلفة، الذي لم يُبْن مثله أبداً. هذه التكلفة المُرتفعة، التي يتحمّلها الأميركيون بشكل أساسي، تُثير أصلاً ردود فعل عديدة فيما وراء الأطلسي. إذ إنَّ التداعيات على المستوى الصناعي أو العلمي ليست مُقوَّمة بأنّها كافية لتسويغ مثل هذا الإنفاق في أزمنة المصاعب الماليّة. ومع ذلك، يرى بعضهم أنّ بناء قاعدة دائمة في مدار مُنخفض يُمثِّل مرحلة ضرورية ومنطقية في سيرورة غزو الفضاء. فقد تسمح بفهمٍ أفضل لوظائف الأعضاء عند الإنسان والحيوان في الفضاء، وبالتأقلُم مع شروط العمل في هذا الوسط الغريب، وكذلك بتمهيد الطريق للمراحل القادمة، أي للبعثات إلى القمر والمرِّيخ. يعكِس هذا المفهوم للمحطّة الفضائية بوصفها "مَدرَج إطلاق"، استراتيجية على المدى البعيد تبدو وحدَها القادرة على تسويغ تكلفتها المُرتفعة.

مُستوطنات أونيل الفضائية

إن فكرة أن يستطيع الإنسان الإقامة في الفضاء، لا لِيعمل فيه وحسب، بل ليعيش هناك بشكل دائم، ليست فكرةً جديدة. فقد سبق أن فكّر فيها قسطنطين تسيولكوفسكي في نهاية القرن الماضي، وفكّر فيها بعده، بحوالي ثلاثين عاماً، الفيزيائي الإنكليزي "جون ديموند برنال"، ثُمّ عدّة كتّاب خيال علمي، رُبّما تُقدِّم مؤلّفاتهم قليلاً من التفاصيل عن بناء المُستوطنات الفضائية وعمَلها التي لم يكن تحقيقها مُتصوَّراً إلا في مُستقبل غير منظور.

في بداية السبعينيات، أعاد عالِم الفيزياء الأميركي "جيرالد أونيلْ" الكشف عن أفكاره واكتشافها كميّاً مع طُلّابه في جامعة برنستون. فأقنعته نتائج هذه الدراسات بواقعية المشروع الذي عرَضه في كتابه "الحدُّ الأعلى". وقد استقبل الجمهورُ الأميركي بحماسةٍ هذا الكتاب المنشور سنة 1977.

يرى أونيل أنَّ الإنسان سوف يُقيم ذات يوم في الفضاء، لِعدَّة أسباب : لكي يُركِّز فيه نشاطاته الصناعيّة، ويتجنَّب بذلك تلوُّث البيئة ونفاد مصادر المواد الأوَّلية من الأرض، وليخلُق فيه مجالاً حيوياً يمتصُّ الزيادة المُطَّردة لعدد سُكّان كوكبنا، وأخيراً ليؤسِّس مُجتمعاتٍ جديدة مُستقلّة عن الحكومات الأرضيّة، مُحقِّقاً هكذا حلُم المُفكِّرين الطوباويين. يرى بعضهم أن هذا التحليل ساذج. ويلفتون الانتباه إلى أنَّ من المُمكن تحقيق هذه الأهداف على الأرض، من خلال التحكُّم في الولادات، ومراقبة نشاطاتنا الصناعية، وكذلك من خلال جُهدٍ عام غايته تحسين مُجتمعنا. وتُظهِر التجربة مع ذلك أنَّ هذا المشروع الاجتماعي يُحتَمل أن يكون أكثر طوباويّة من مشاريع الإقامة في الفضاء. إذ سبق أن أظهر الإنسان تَمكُّنه من الأسفار والأشغال الفضائية، لكنَّه لم يُظهر تحكُّمه بنفسه. أمّا مشروع المستوطنات الفضائية فيقوم على بعض التأكيدات البسيطة. فالإنسان يُوجِب عناصر أساسيّة لعيشِه: الطاقة، والهواء، والماء، والغذاء، والأرض، والجاذبية. أوَّل هذه العناصر موجود بغزارة في الفضاء، والثاني يُمكن أن يتجلّى على الفور، بينما يجب نقل الباقي كلّه. إضافةً إلى أنّه ينبغي، لِحياةٍ طبيعية، ثِقلٌ أرضيّ، ودورة من 24 ساعة للنهار والليل، وإضاءة طبيعية، وبيئة قريبة ما أمكن من الغلاف الجوِّي الحيوي للأرض.

يبدو أنَّ أسطوانة تدور حول مِحورها هي الحلّ الأفضل لهذه العوائق. فالفضاءات القابلة للسكن تُغطّي الحياد الداخلي للأسطوانة حيث تأخذ القوَّة النابذة دور جاذبية اصطناعية. يعتمد حجم الأسطوانة على السكّان المرغوبين، وكذلك على موادّ البناء المُستخدَمة. وقد كانت مشاريع أونيلْ تخُصُّ إسكان ما

بين عشرة آلاف وعدّة ملايين نسمة، في أسطوانات يتراوح طولها بين 1 و 30 كيلومتراً (انظر الجدول في الأسفل). فَيا لَه من إحساسٍ غريب ينتاب أوائل الساكنين في هذه الأسطوانات وهم ينظرون صوب السماء ويرون أسطحة منازل جيرانهم على مسافة عِدّة كيلومترات مُصوَّبةً في اتجاههم!

نماذج أونيل من المستوطنات الفضائية

النموذج	الطول (بالكيلومتر)	الشُعاع (بالكيلومتر)	عدد السُكّان
1	1	0.1	10000
2	3	0.3	30000
3	10	1.0	100000
4	32	3.2	1000000

تدور أسطوانة أونيل حول محورها في مُدّة تساوي دقيقة تقريباً، تكفي لمحاكاة الثقالة الأرضية على الحافّة، لكنّها أقصر من أن تُوفِّر تناوُب الليل والنهار. إذ يتِمّ الحصول على هذا الأثر من خلال لُعبة نكية من ثلاث مرايا من الألومنيوم، واقعة خارج الأسطوانة، وتدور معها. تُستخدم المرايا لإعادة إرسال ضوء الشمس إلى داخل المُستوطَنة، عبْر ثلاث فتحات مُزجَّجة تقع على طول الأسطوانة. كلّ فتحة مُزجَّجة تواجِه منطقة مأهولة؛ وبعبارة أُخرى، يتضمَّن داخل الأسطوانة ثلاث مناطق صالحة للسكن تفصلها ثلاثة جدران شفَّافة بالارتفاع نفسه. وتُراقَب مُدَّة اليوم من خلال انفتاح المرايا الثلاث أو انغلاقها، حيث تنطبِق كليّاً على الجُدران الشفَّافة طيلة الليل. هذه اللعبة نفسها تُثبِّت الطاقة الشمسيّة المُتلَقّاة داخل الأسطوانة، وتُثبِّتُ بالتالي درجة الحرارة المتوسِّطة ودورة الفصول.

ثمّة ألواح شمسيّة منشورة على أحد أطراف الأسطوانة توفِّر الطاقة اللازمة لِعمل المُستوطنة. ومن أجل أن تبقى الألواح في مواجهة الشمس باستمرار، يجب أن يتوجَّه محور النظام دون انقطاع باتِّجاه الشمس. من الصعب أن تبقى أسطوانة معزولة ثابتةً في هذا التصوُّر لأنّ تأثير جاذبية الأرض والقمر تُخِلّ توازنها بسرعة. وبُغية تجنُّب استخدام الصواريخ المُوازِنة، يُفكِّر أونيل بجمع أسطوانتين تدوران

باتجاهٍ مُعاكِس، وهذا جمعٌ مُستقِرّ إلى حدٍّ أقصى. وبفضل لُعبة المرايا، تشهد الأسطوانتان فصولاً مُختلِفة، إذ تكون الأولى في الشتاء حين تكون الثانية في الصيف. وبإمكان سُكّانهما العبور من أسطوانة إلى أُخرى وقضاء عدّة أيام من العطلة في طقسٍ مُختلِف.

يحمي جوُّ الأسطوانات وجدرانُها السميكة السُكّانَ من جُسيمات الريح الشمسيّة ومن الإشعاعات الكونيّة. وفي غياب الهزّات الأرضيّة، والبراكين، والفيضانات، والعواصِف، يأتي خطر الكوارث الطبيعية الوحيد من النيازك التي تعبُر الفضاء بسرعة عدّة عشرات الكيلومترات في الثانية. ومن حُسن الحظّ أنّ تردُّد هذه الأجسام يقِلُّ كثيراً مع كُتلتها. وعلى مستوى المدار الأرضي، تعترض مساحةُ 1000 كيلومتر مربع نيزكاً أثقل من طَنّ مرّة كُلّ مليون سنة. والمقذوفات الأثقل من حوالي عشرة غرامات قادرة على تحطيم الفتحات المُزجّجة، تقريباً مرّة في السنة. وقد تمنعها الكتلة الضخمة للغلاف الجوّي من الإفلات عبر الزُجاج المكسور، ممّا قد يُتيح الزمن اللازم لإصلاح الأضرار. يُستحسَن ببساطة تركيبُ نظامِ مُراقبةٍ فعّال قادر على أن يكشف فوراً أقل حادث من هذا النوع.

تتموّن المُستوطنات الفضائية من أسطوانات أُخرى واقعة قُربها، ومخصّصة حصراً للزراعة وتربية الحيوان. هذه المزارع الأسطوانية ذات جانبية أقلّ، ومُناخها أكثر حرارة ورطوبة من الأسطوانات المسكونة. والنباتات والفواكه والخُضار تنمو في مُحيطها المُعقّم دون حاجة إلى المُبيدات. وستقوم أجهزة الإنسان الآلي المُتحكّم بها من بُعد من الأسطوانات المأهولة بأغلب الأعمال الزراعية. وبفضل فروق التوقيت المدروسة بذكاء بين الفصول في المزارع الأسطوانية، يتمكّن مستوطِنو الأسطوانات من أن يستهلكوا مُنتجاتٍ طازجة طيلة السنة.

تصوّر أونيلُ أيضاً نمط حياة مجتمع يتطوّر في هذا الإطار المُستقبلي. فالاقتصاد ينهض على اختراع مُنتجات عالية القيمة المُضافة (أشباه مُوصِلات،

مُنتجات صيدلانية، إلخ.) والاتِّجار بها مع الأرض. ليس ثمّة من نقْل مُلوِّث، ومُجمل الحاجات إلى الطاقة تُغطّيها الطاقة الشمسيّة. وتتركّز النشاطات الصناعية التي تقوم بها أجهزة إنسان آلي مُتحكَّم بها من بُعد في أسطوانات خاصّة. وتحتلّ الثقافة والتسلية وأنشطة الرياضة مكاناً مُتميِّزاً في حياة هذا المجتمع الفضائي. فقُرب محور الأسطوانة، تسمح الجاذبية الضعيفة بمُمارسة نشاطات رياضية غير مألوفة، أو مستحيلة الوجود على الأرض، كتطيير جهاز بقوّة العضلات وحدَها (نوع من الدراجة الطائرة). والأهمّ أيضاً إمكانية التنقُّل التي تمنحها الجاذبية الضعيفة لأشخاص مُسنِّين أو أنهكهم المرض. هذه الإمكانية المتناسقة مع المُناخ المُعتدِل، ونقاء الجوّ، تجعل من المُستوطنَة الفضائية مأوىً مثالياً.

ستُقام مُستوطَنات أونيل الفضائية في النقطتين L4 وL5 من منظومة الأرض ـ القمر، اللتين يسهُل الوصول إليهما من الأرض كما من القمر. فكل شيء في جوار هاتين النقطتين (في منطقة نصف قطرها 50000 كم تقريباً) يتماسك في مدار مُستقِرّ حول L4 أو L5، من خلال لُعبة القوّتين الجاذبتين للأرض والقمر. والمكان مُناسب بصورة مثالية لِتُقام فيه عِدّة مُستوطَنات. وإذا ما بدَتِ التجاربُ الأولى مُجزيّة، فإن عدد الأسطوانات وحجمها في سيناريو أونيل سيزيد بسرعة، ويُمكِن أن يبلغ عدد سُكّانها الإجمالي عدّة مليارات نسمة.

يتطلّب بناء المُستوطَنات الفضائية كميات كبيرة من المعدّات. فكتلة أصغر أسطوانة يتعدّى نصف مليون طَنّ، مُعظمها للهيكل والأرض. ولما كان نقل هذه الكتلة كلّها من الأرض مُستبعَداً، يوحي أونيل بفكرة نقلها من القمر بواسطة قاذف كهرمغناطيسي. وقد أجرى دراسةً مُفصَّلة لمشروع لونارتون كلارك وبنى له نماذج تجريبية مُصغَّرة في برنستون. وأكَّد بالمُقابل أنَّ هذا النظام غير مُناسِب لبناء النمَطين 3 و4 اللذين يتطلَّبان عشرات ملايين الأطنان من الموادّ. لذا اقترح استخدام موادّ موقعٍ آخر من المجموعة الشمسيّة، بعيدٍ لكن الوصول إليه ممكِن : النيازك التي تقترب من

وقتٍ إلى آخر من كوكبنا. وسوف نعود إلى هذه الفكرة في القسم التالي من هذا الفصل.

لقد قدَّر أونيل تكلفةَ أوَّل مُستعمرة فضائية بحوالي ثلاثين مليار دولار (بأسعار 1972)، أي ما يُعادل تكلفة مشروع أبولو. لكِنَّ وحدة الكتلة في المُستوطَنات اللاحقة قد تُكلِّف أقل، لأنَّ جزءاً كبيراً من العاملين والطاقم ستكون هناك مُسبقاً. كان يجب أن يبدأ بناء المستوطَنات الأولى، بحسب التقديرات الأوَّلية لأونيل، حوالي نهاية الثمانينيات، حيث إنَّ عدَّة عشرات آلاف من الناس يُمكن أن يسكنوها في بداية القرن القادم.

في عام 1985، أسَّس أونيل معهد الدراسات الفضائية لكي يُعمِّق مفهوم مستوطَنات الفضاء. وقد ألهمت رؤاه، التي استُقبِلت بحماسة خلال السبعينيات، كثيراً من كُتَّاب الخيال العِلمي. كما ألهمت، سنة 1982، مشروع المدينة الفضائية أُولغا OLGA، (للمهندس المعماري الإيطالي دانيال بيديني)، وهو مشروع مستقبلي طَموح للغاية على صعيد جمالية العمارة وعمران المديني. ومع ذلك، لا تأثير لأفكاره اليوم في المشاريع الفضائية للمُستقبل. فقد بدا غزو الفضاء أصعب وأكثر تكلفة مما كنا نتصوَّر في ذلك الوقت. على حين بدا المفهوم القديم لبناء قواعد تُقام على سطح الكواكب أو على أقمارها أكثر واقعية، على الأقلّ على مدى القرن القادم. وعلى الرغم من هذا، لا يمكننا أن نستبعد، على المدى البعيد، تجديد منفعة هذا النوع من المشاريع...

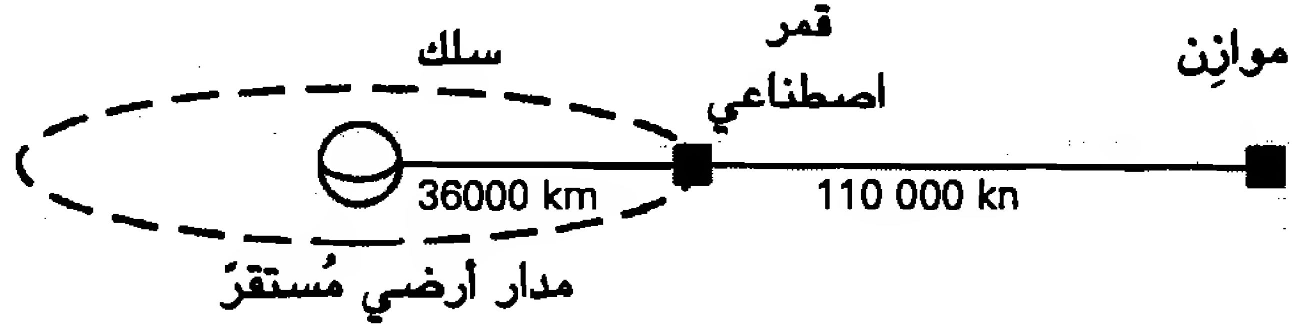
سُلَّم إلى السماء

يَعُدُّ كثيرون المقطوعة الموسيقية لمجموعة "ليد زبلين" المسمّاة "*سُلَّم إلى الجنة*" من أفضل المقطوعات في تاريخ موسيقى الروك. إذ يعكس عنوانها واحداً من أقدم أحلام البشرية: بناء *سُلَّم للصعود إلى السماء*. *القصة الإنجيلية* عن برج بابل توضِّح هذا *الحلم القديم*، أو يوضِّحه سُلَّم يعقوب الذي يسمح للملائكة

بالنزول من السماء، بحسب سِفْر التكوين. كذلك تشهد حكايةُ "جاك ونبتة الفاصوليا السحرية" للأخوين "غريم" التي يستخدم بطلُها نبتة فاصوليا عملاقة للصعود إلى السماء، على هذه الرغبة الدائمة عند الإنسان.

نحن نستطيع اليوم بلوغ السماء، أو الفضاء، بمساعدة الصواريخ. لكنْ ما أمر هذه الأحلام القديمة ؟ هل بإمكاننا أن نأخذها بحرفيَّتها ونُحقِّقها ؟ فبناء برج بابل تخترق قمَّتُه الغلاف الجوِّي على ارتفاع مئة كيلومتر تقريباً أمر مستحيل: فأيّ بناء سينهار تحت ثِقله الخاصّ إذا تعدَّى ارتفاعاً مُعيَّناً. ورُبَّما نستطيع، من حيث المبدأ، وباستخدام موادّ شديدة المُقاومة وخفيفة كألياف الكربون (المُستخدمة في صناعة مضارِب التِنْس من بين صناعات أُخرى)، أن نبني برجاً ارتفاعُه أربعون كيلومتراً كحدٍّ أقصى، تقريباً أعلى خمس مرَّات من قمَّة جبَل إفرِست. ولكي يتحمَّل البرجُ ثِقْلَه، لا بُدَّ أن تكون قاعدتُه بِعرض 6 كيلومترات، وتصير أضيق شيئاً فشيئاً مع الاقتراب من القمَّة، على غرار برج إيفل. وإذ تقترب مقاومة ألياف الكربون من الحدّ النظري (الذي تفرضه الخصائص المجهريّة للموادّ)، فمن غير المُمكِن الوصول إلى الفضاء بهذه الوسيلة.

في عام 1957، تحقَّق المهندس السوفييتي "يوري آرتسوتانوف" من إمكانية أن يُقام، على الأقلّ نظرياً، نظام نقل من خلال سِلْك (كبْل) بين الأرض والفضاء، يبدأ من الأعلى إلى الأسفل. فرُبّما "يكفي" إلقاء سِلك طولُه 36000 كيلومتر من قمر اصطناعي أرضي مُستقِرّ، وربطه بالأرض. ولما كان القمر الصناعي سيظلُّ فوق نقطة التثبيت، فإنَّ السلك يبقى مشدوداً إلى الأرض بشكل عمودي. وكسيفٍ عملاق مغروس في كوكبنا، يرسم دورةً كاملة كلّ 24 ساعة. ورُبَّما استطاع الشجاعُ جاك ـ في قصّة الأخوين غريم ـ أن يتسلَّقه، ويجد نفسَه على ارتفاع 36000كم عن سطح الأرض، في وسط الفضاء. في 31 تمُّوز/يوليو عام 1960، نشر آرتسوتانوف فكرته في مقالةٍ موجَّهة للشباب من قرَّاء



الشكل 4-1. توضيح لمبدأ المصعد الفضائي (ليس على السُّلَّم). ثقل السلك بين الأرض والقمر الاصطناعي في المدار الأرضي المُستقِرّ يجذب السلك نحو الأرض، ويجب أن تُوازنَه القوّة النابذة المؤثِّرة في السلك الثاني (قمر صناعي - مُوازِن).

كوسمولوسكايا برافدا، صحيفة الشبيبة الشيوعية في الاتحاد السوفييتي السابق. وفي عام 1966، اكتشفتِ المفهومَ بشكل مُستقِلَ مجموعة أميركية من مُصوِّري المحيطات (ألِفت أشغال إنزال حبال في المُحيط)، ثُمَّ اكتشفه، في عام 1975، مُهندس القوى الجويّة الأميركية "جيروم بيرسون".

سيُصنَع السِلك، بحسب المشاريع المُفصَّلة لِبيرسون، على القمر الاصطناعي، ويُنزَّل ببطء صوب الأرض. وسيكون جُزؤه الموجَّه إلى الأرض دقيقاً جدّاً، لكن كلَّما تقدَّم العمل، غدا السلك أكثر سماكةً لكي يتمكَّن من حمل ثِقل الجزء السفلي. وفي الوقتِ ذاته، سيخرج سلكٌ آخر تدريجياً من القمر الاصطناعي، في الاتِّجاه المُعاكِس. وسيُستخدَم لِيُوازِن مجموعة "السِلك + القمر الاصطناعي"، مُثبِّتاً مركز الكتلة بشكل دائم على ارتفاع 36000 كم. وسوف تُوازِنُ القوَّةُ النابذةُ المؤثِرةُ في السِّلك الصاعِد قوَّةَ الجذب المؤثِّرةَ في السلك النازل. وحين يصِل السلكُ الأوَّل إلى الأرض، تكون قمّةُ السلكِ الثاني على ارتفاع 110000 كيلومتر من القمر الاصطناعي الأرضي المُستقِرّ، مُغطِّياً تقريباً ثلث المسافة بين الأرض والقمر.

سوف تصعد على طول السلك عربات مُحمَّلة بمختلف الموادّ، وتستخدم الطاقة الكهربائية. ولن ترتفع تكلفة النقل إلى أكثر من عدّة دولارات للكيلومتر الواحد، مُقارَنةً بالعشرة آلاف دولار للكيلومتر التي تُكلِّفها صواريخنا الحاليّة.

حين تخرج المصاعد من الغلاف الجوِّي، تستغرق ستّ ساعات للوصول إلى القمر الاصطناعي الأرضي المُستقِر، بسرعة 6000 كم في الساعة، وهي سرعة قريبة من سرعة طائراتنا السريعة. طبعاً، لا ينبغي أن تحتكَّ بالأسلاك، بل تُسترفَع حولها بمساعدة حقل مغناطيسي عالي الاستطاعة. وكلَّما ارتفعت أكثر، يُمكِن أن تتحرَّر حمولتها شيئاً فشيئاً من الجاذبية الأرضيّة. فبعد مسافة 25000 كيلومتر، كلّ شيء موضوع خارج العرَبة لا يقع أبداً على الأرض، بل يصير في مدارٍ حول الأرض. وإذ يُطلَق الشيء على ارتفاع 36000 كيلومتر، لا يبتعد كثيراً عن القمر الاصطناعي الأرضي المُستقِرّ، بل يتبعُ مسارَه نفسَه. وإذا تابعت العربة صعودها حتى طرف السلك الثاني، على ارتفاع 146000 كيلومتر من الأرض، فقد تبلُغ سُرعتها 11 كيلومتراً في الثانية. والجسم الذي يقذفه مقلاعٌ عملاق في فضاء بَيْن كوكبي، تخلَّص من الجاذبية الأرضية.

تبدو الطاقة الكهربائية أكثرَ مُناسَبةً لِسُكّان العربات، لكن كيف يتِمُّ نقلُها ؟ من المستبعَد تزويد كامل النظام بأسلاك عاديّة بدءاً من الأرض، بسبب الخسائر الهائلة من الطاقة، والثقل الزائد لهذه الأسلاك. يُفضَّل إذاً إنتاج الطاقة محليّاً، على الأرجح من خلال ألواح شمسيّة منصوبة على طول المسافة. وستستخدَم آلية بديلة الغاية منها استرداد طاقة العربات النازلة، المُجبَرة على الكبْح لكي لا تتحطَّم على الأرض.

إنَّ ميزات نظامٍ كهذا واضحة : فهو يخفِّض تكلفة الوصول إلى الفضاء، ويُلغي الحاجة إلى صواريخ عملاقة (وخطيرة) للتخلُّص من جاذبية كوكبنا. ومع ذلك، فكميّة المواد اللازمة لبناء المصعد الفضائي هائلة. فمقطعُ سِلكٍ مصنوعٍ من ألياف الكربون وقادر على رفع حوالي مئة طَنّ حتى المدار الأرضي المُستقِرّ سيكون بضعة مليمترات على مستوى الأرض، وحوالي عشرة سنتيمترات قُرب القمر الصناعي. وعلى الرغم من خِفَّة مادَّته عالية المواصَفات، فقد تُجاوز كتلة السلك مليون طَنّ، أي أضخم من بعض مُستوطَنات أونيل الفضائيّة! وفي الواقع،

ينبغي أكثر من سِلك (واحد للصعود، وآخر للنزول، يُضاعَفان لأسباب الصيانة والأمن)، كذلك ينبغي وجود محطّة أرضيّة مُستقِرّة أكثر ضخامةً أيضاً، حتى يكون مركز كتلة المنظومة قريباً دوماً من مسافة 36000 كيلومتر فوق الأرض. وقد تُرفع الكتلة العامّة إلى عِدّة ملايين طَنّ، وهي كتلة يصعُب نقلُها من الأرض (قبل بناء المنظومة!).

كان س. كلارك أوّل كاتبٍ يستخدم مفهوم المصعد الفضائي في روايته "ينابيع الفردوس" المنشورة سنة 1979. تُلامِس قاعدة السلك قمّة جبل في سريلانكا، البلد الذي يتبنّى كلارك منذ حوالي ثلاثين عاماً. يُبنى المصعد من موادّ نيزك، وهي فكرة طرحها أونيل، قبل عدّة سنوات، لِمُستوطناته الفضائية. في ذلك العصر، كان شكل الكربون الأكثر مُقاومة ... الألماس! واليوم نعرف شكلاً ثالثاً من الكربون، هو "الفولرين" C_{60} (من اسم المهندس المعماري الأميركي بوكمينستر فولر)؛ والأكثر مُقاومة من الماس أيضاً. وهناك شكل أنبوبي من الفولرين، تمَّ إنتاجه سنة 1990 في مختبَر أميركي، يُحتمل أن يصير المادّة الأكثر مُلاءمةً لبناء المصعد الفضائي. وقد تحقّق كلارك من أنَّ المفهوم قد يُطبَّق بصورة أفضل على المرِّيخ، لأنَّ قوة الجانبية فيه لا تبلغ إلّا 40% من جاذبية الأرض. فضلاً عن أنَّ المدار المرِّيخي المُستقِرّ لا يقع إلا على مسافة 16000 كيلومتر من الأرض. وعليه فإنَّ مصعداً مريخياً يُمكنه أن ينقل حوالي مئة طَنّ في الفضاء لن يزِن سوى عدّة آلاف من الأطنان.

يُشدِّد كلارك على خطر النيازك، والأقمار الصناعية العديدة التي تدور حول الأرض، الذي يُهدِّد المصعد الفضائي. فاصطدام السلك بواحدٍ من هذه الأجسام، بسرعة عِدّة كيلومترات في الثانية قد يتلِفه إلى حدٍّ كبير، حتى إنَّه قد يُحطِّمه كُليّاً. وبعد عِدّة ساعات، سيخترق جزؤه الأسفل، الذي يهوي من عَلٍ، الغلاف الجوِّي بسرعة حوالي عشرة كيلومترات في الثانية. وسوف تنتشر موجةُ صدم هائلة مُحمَّلة بِطاقةٍ تُعادِل عدّة ميغاطَنّ من الديناميت، في الغلاف الجوِّي على طول المسار القاتل

للسلك الذي يلتفُّ حول المدار كَثُعبانٍ هائل. لقد وُصِفت نتائج كهذه في حال مصعدٍ مرِّيخي في رواية الخيال العلمي *"المرِّيخ الأحمر"* لِلأميركي "كيم. س. روبنسون" المنشورة سنة *1991*. فالكاتب يكشف نقطةً هامَّة: حتى لو أمكن تجنُّب خطرِ كارثةٍ طبيعية من هذا النوع (بتدمير الأقمار الاصطناعية أو النيازك بدءاً من تأكيد اصطدامها بالسلك)، فكيف نتجنَّب خطر تحطيم مُتعمَّد؟ فالتجهيزات الفضائية خاصَّةً، مثلما رأينا في القسم الخاصّ بالمُفاعِلات الشمسيّة، عُرضة للهجوم بالصواريخ ...

ثروات النيازك

منذ القِدَم، وعلى نحوٍ خاصّ، منذ الثورة الصناعيّة، تعاظمَت كثافةُ استخدامِ الإنسان للمعادن. والمعدن المُستخدَم بكثرة هو الحديد الذي يبلغ مُعدَّل إنتاجه السنويّ اليوم ما يقرب المليار طَنّ. أمَّا إنتاج المعادن الخفيفة كالألومنيوم، والتيتانيوم، المُستخدَمين باطِّراد في الصناعة الحديثة، فأقلّ من إنتاج الحديد بحوالي عشر مرَّات للألومنيوم، ومئة مرَّة للتيتانيوم.° وعلى العموم، كلّما كان المعدن وافراً على سطح كوكبنا، زاد استخدامُه، وانخفض سِعرُه. وتكفي احتياطات الأرض من المعادن لتغطية حاجات حضارتنا الصناعية على مدى عِدّة قرون. وبالمقابل فإن، المعادن قابلة لإعادة التصنيع، خلافاً لموادّ الطاقة العضويّة (الكربون، والنفط، والغاز) التي يُنهيها الاستخدام فيزيائياً بوصفها مصدراً للطاقة. وهكذا لن تُواجَه مشكلة شُحّ المعادن في مستقبلٍ قريبٍ أو بعيد.

ومع ذلك، يتطلَّب استخلاص المعادن من مناجمها استهلاك كمية كبيرة من الطاقة (لا بُدَّ من حرْق طَنّ من الكربون لإنتاج طَنّ من الحديد)، ممّا يُخلِّف نتائج بيئيّة خطيرة. ومن جانبٍ آخر، كلَّما شحّت المناجم السطحية، وجب البحث عنها في مناطق أعمق فأعمق، ممّا يزيد تكلفة العملية. لذلك أُوحِيَ، منذ نهاية السبعينيات، بحتمية عودة الإنسان، عاجلاً أم آجلاً، إلى المواد الأوَّلية للفضاء.

واليوم يبدو أن هذه المصادر لن تغدو هامّةً لحضارتنا على الأرض إلّا بعد عِدّة قرون. وستكون الوثبة باتِّجاه الثروة مُسوَّغة بالأحرى من خلال بناء تجهيزات كُبرى، أي مُستوطنات فضائية. فتكلفة نقل المواد الضرورية من الأرض، كما رأينا في الأقسام السابقة، باهظة حتى لو لم يتوجَّب قطع سوى عدّة مئات من الكيلومترات في خطٍّ مُستقيم. وبالمُقابل، فنقل شيء صُلب إلى مسافة ملايين الكيلومترات في الفضاء يُكلِّف نسبياً قليلاً من الطاقة، بشرط ألا يُفرَض عليه التغلُّب على حقل مغناطيسي كثيف.

نعرف منذ زمنٍ طويل دَور الطاقة الشمسيّة من حيث هي منبع لِكُلّ حياةٍ على الأرض. والمعروف أقلّ من هذا بكثير حقيقةُ أنّ الإنسان استخدم، منذ القِدَم، مصدراً آخر من الفضاء. فحوالي العام 3000 قبل الميلاد، كان الحثيون أوَّلَ الذين استخدموا حديد النيازك، أي تلك الحجارة الهابطة من السماء، وذلك لصناعة سيوفهم. وبفضل تفوُّق هذه الأسلحة الجديدة، توصَّل هذا الشعب الشرق أوسطي المُحارب إلى هزيمة الجيوش المصريّة وغزو مملكة الفراعنة. وقد أحدث استخدام الحديد، في صناعة الأسلحة بدل البرونز، ثورةً في فنِّ الحرب عند القُدماء، إلى حدّ أنّه أثّر أحياناً في مجرى التاريخ. ويبدو اليوم أنَّ استخدام المصادر الفضائية سَيُفجِّر ثورةً أيضاً في التاريخ المُستقبلِي لِغزو الفضاء.

يرى بعضهم أنّ التشابُه بين لفظتي صناعة الحديد (من الإغريقية سيديروس، أي "حديد"، ونجميّ (من الكلمة اللاتينية "سيدوس"، أي "مجموعة نجوم") يتضمَن أنَّ الأصل الفضائي للحديد النيزكي كان معروفاً عند القُدماء. ويظنُّ أغلب عُلماء اللغة، مع ذلك، بأنَّ الأمر مُتعلِّق بمجرَّد تطابُق جَذر كلمتَين. حقّاً إنَّ ظاهرة النجوم السيّارة توفِّر علاقة طبيعية بين السماء والنيازك الحديدية التي عُثِر عليها على الأرض. ورغم هذا، كان أرسطو يعتبر أن أصل هذه الظاهرة جويٌّ خالِص. ففي رأيه، كانت المادّة التي تقذفها البراكين تصعد في الجوّ وتحترق مع ملامستها أوّل طبقة شفّافة مُحيطة بكوكبنا، أي طبقة القمر. والواقع

أنَّ العالَم، في علم الكون الأرسطيّ، كان فيما بعد الطبقة القمريّة، كاملاً ولا يفسد؛ حيث لا يُمكن أن يتولَّد فيها أيُّ تغيير، وبالتالي لا يُمكن لأيّ نجم أن يفلت ليقع على كوكبنا. وقد بلغ تأثير الفكر الأرسطي في الغرب حدّاً كبيراً وجب معه انتظار نهاية القرن الثامن عشر لكي يقبل المُجتمع العلمي بالأصل الفضائي للنيازك. ففي 26 نيسان/أبريل من عام 1803، فجَّر وابلٌ من النيازك قرية "النِّسْر" (L'Aigle) في فرنسا. لقد انتهت شهادات القرويين، والأجزاء العديدة التي عُثِر عليها بإقناع الفيزيائي المشهور "جان باتيست بيُّو" (الذي هرع إلى المكان)، والباقين من المُجتمع العلمي، بأنَّ صخوراً يُمكِن أن تسقط فعلاً من السماء.

شكَّلت هذه الحجارة، طيلة قرنين تقريباً، العيِّنة الوحيدة من المواد النيزكية التي هي تحت تصرُّفنا. واليوم هناك أكثر من ثلاثة آلاف عيِّنة مُصنَّفة في فهارِس وقِطعُها معروضة في متاحف العالَم قاطِبة. ويُقدَّر أنّه في كلّ سنة تخترق جوَّ كوكبنا عشرةُ آلاف طَنٍّ من المادة النيزكيّة، بسرعة عدّة عشرات الكيلومترات في الثانية. وحدَها الأجزاء الأكبر من هذه الأجسام تصل بسرعة إلى الأرض بعد أن تفقد الجزء الأعظم من كُتلتها بسبب احتكاكها بطبقات الجوّ. بعض هذه الأجسام، كما سوف نرى في الفصل الثالث، يُمثِّل خطراً حقيقياً يُهدِّد الحياة على الأرض.

تنتمي النيازكُ التي تسقط على الأرض إلى مجموعة من النجوم الصغيرة في المجموعة الشمسية، التي يقترب مسارها كثيراً من مسار كوكبنا. وكشفُها صعبٌ نسبياً نظراً لِصِغَر حجمها. لم يُكتَشف أوّل جسم من هذا النوع، أي نيزك 433 ايروس، إلّا عام 1898. واليوم، هناك حوالي أربع مئة نيزك قريب معروف. قطْرُ أضخمها، 1036 غانيميدا، يبلغ 40 كيلومتراً، وتزِن كتلته 100000 مليار طَنّ، بينما حجم أصغرها لا يُجاوِز عشرة أمتار، وتزِن كُتلته حوالي ألف طَنّ. ويتناقص عددها كثيراً بالتناسُب مع القطر. لا بُدَّ أن يوجد منها حوالي ألفي نيزك بقطر أطول من كيلومتر، وأكثر من سبعة آلاف بقطر أقلّ من هذا بعشر مرّات. ويُقدَّر عددها الإجمالي، على اختلاف أحجامها، بحوالي عدّة عشرات من الملايين.

لا تُشكِّل هذه المجموعة من النيازك القريبة من كوكبنا إلا عيِّنة ضئيلة من مجموعة أوسع تقطُن بعيداً نسبياً عن كوكبنا، في منطقة واقعة بين مدارَيْ المرِّيخ والمُشتري. ولو اتّخذنا كوحدة مسافةٍ فلكية (UA = وف) 150000 كيلومتر التي تفصل الأرض عن الشمس، لَوُجِد مدار المرِّيخ على بُعد 1.5 وف، ومدار المُشتري على بُعد 5.2 وف، على حين أنَّ منطقة النيازك تمتدّ بين حوالي 2 و 4 وف. لِأغلب هذه الأجرام مدارات دائريّة، غير أنَّ بعضها انحرف من وقتٍ إلى آخر باتِّجاه داخل المجموعة الشمسية، إذ اضطرب مسارُها بتأثير حقل جاذبية المُشتري. إذاً فهي تتَّبع مساراً إهليلجياً يُمكِن أن يقودها نسبياً قُربَ مسارِ كوكبنا. وتُظهر الحسابات أنّه بعد عدّة عشرات من ملايين السنين، ستُقذف من مداراتها الجديدة، مُضطربة، هذه المرَّة، بتأثير حقول الجاذبية لكواكب داخليّة (الأرض، والمرِّيخ، وعُطارد). بعضُها سينتهي، بطبيعة الحال، بأن يرتطم بهذه الكواكب، أو بالقمر.

تتركَّب أغلب هذه النيازك (حوالي أربعة أو خمسة) بشكل أساسي من أكسيدات السيليسيوم والحديد والكالسيوم، وهذا تركيب مُشابهٌ نوعاً مّا لتركيب القشرة الأرضية. فجُرم من أصل خمسة تقريباً يحتوي على كميّات كبيرة من الكربون، والماء، والهيدروجين، والآزوت، وموادُّ أُخرى مُتبخِّرة. وأخيراً، نسبة قليلة تبلغ 3% تقريباً تحتوي حصراً على الحديد والنيكل ومعادن ثقيلة أُخرى.

ومن بين مُختلَف نماذج النيازك، فإن الأكثر أهمية لنشاطاتنا الفضائية في المستقبل هي تلك التي تحتوي على موادَّ مُتبخِّرة، أي حُبَيبات مُكرْبَنة. والماء هو من دون نقاش أهمّ هذه الموادّ. فلِكون الماء داعماً جوهرياً للحياة، ومُذيباً من درجةٍ أُولى، يُمكن أن يُفيد أيضاً كدرعٍ يمتصُّ الجزيئات الخطيرة التي تذرع الفضاء بين الكواكب. ويُمكن أن يُنقل الماء بسهولة في شكله السائل، أو أيضاً في شكله الصُّلب من دون الحاجة إلى خزَّان: في برودة الفضاء، يُمكِن أن تستمِرّ كتلة من الثلج فترة طويلة دون أن تفقد من حجمها شيئاً يُذكَر. ومن جانبٍ آخر،

يُفكَّك الماء إلى هيدروجين وأُكسجين، وهما عُنصرانِ آخران مُفيدان جدّاً. فلا غنى عن الأكسجين من حيث كونُه غازاً تتنفَّسه الأجهزة العضويّة الحيّة، ووقوداً للصواريخ الكيميائية. ويُشكّل الهيدروجين وقوداً فعّالاً لكنَّ استخدامه يُمثّل مخاطرَ معينة، نظراً لنزوعه إلى الاشتعال الانفجاريّ في جوٍّ غنيٍّ بالأكسجين. كذلك قد تُستخدَم موادّ مُتبخِّرة أُخرى وقوداً بالدفع الفضائي أو في شتّى نشاطاتِ الصناعة الكيميائية. وأخيراً، سيأخذ الآزوت، كما على الأرض، دور الغاز الهامد الضروري في الجوّ الذي يتنفَّسه روّاد الفضاء، أو أيضاً دور مادّة مُغذِّية لنباتات الجوّ الحيوي الاصطناعي. لن يُثير استخلاص هذه المواد المُتبخِّرة من النيازك أيّة مُشكلة، إذ إنَّ تسخين الريغوليت إلى عدّة مئات من درجات الحرارة سيكفي بشكل عام. من الواضح أنَّ الهيدروجين، والآزوت (وربَّما الماء) غير الموجود على القمر، قد يهُمُّ سُكّان قمرنا إلى أقصى حدّ. يجدر التشديد، بالمقابل، على أنَّ رائد ملاحة الفضاء "روبير غودّار" سبق أن أوحى، سنة 1905، باستخدام الأكسجين والهيدروجين الموجودَين في ماء النيازك لِدفع صواريخ كيميائية، ولم تَستأنف النازا هذه الأفكار إلا بعد مُضِيّ ثلاثة أرباع القرن...

تُشكِّل النيازك الحديدية، من حيث المبدأ، الصنف الثاني الأكثر أهميّة للثروات الفضائية. فهي لا تحتوي فقط على معادن مجموعة الحديد (النيكل، والكُروم، والتوتياء، والكوبالت)، بل تحتوي أيضاً على عناصر ثمينة كالبلاتين والذهب. وبفضل الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذين المعدنين الأخيرين، فهما مفيدان جداً في فروع مُختلفة من الصناعة، سواءٌ على الأرض أم في الفضاء. فالذهب، مثلاً، موصل كهربائي ممتاز، ومُقاوم جدّاً للصدأ، وهذه خاصّية مُستحسنة للغاية في اختراع عُلَب التوصيل الكهربائية. إذ يحتوي نيزك حديدي قطرُه 1 كيلومتر على حوالي عشرة مليارات طَنّ من الحديد، وهي كمية كافية لاحتياجات حضارتنا مدّة اثني عشر عاماً تقريباً. بينما كميّة النيكل الأقلّ عشر مرّات فتكفي ألف سنة. هذا النيزك نفسه ينطوي على حوالي 100000 طَنّ من

البلاتين، وعلى عشرة آلاف طَنّ من الذهب. وقد تُجاوِز قيمتُه التجاريّة حالياً ألف مليار دولار. ووفق التقديرات الراهنة، يوجد حوالي مئة نيزك من هذا الحجم. ومع ذلك، من البديهي أنَّ أسعار هذه الكميّات من المعادن، فيما لو صارت جاهزة ذات يوم، ستنخفض انخفاضاً كارثيّاً.

ليس الوصول إلى ثروات الفضاء هذه مستحيلاً، حتى حالياً. وفعلاً، فإن الوصول إلى 20% من النيازك القريبة أسهل من الوصول إلى القمر. ولقطع عشرات ملايين الكيلومترات التي تفصلنا عنها، والتباطؤ، والهبوط على سطحها، ثُمّ الإقلاع والعودة إلى الأرض، تلزم طاقة أقلّ من الطاقة اللازمة لِبعثة إلى قمرنا. قد تستغرق رحلة من هذا النوع، بالوسائل الراهنة، عِدّة أشهر.

سيُمثِّل نقل كمية من المعادن المُستخرَجة من النيازك في الفضاء الأرضي المُستقِرّ مشكلة أكثر جديّة بما لا يُحَدّ. وفعلاً، يبدو أن الحلّ الأكثر اقتصاداً ... هو نقْلُ النيزك بأكمله، والقيام بأعمال الاستخراج على طرف كوكبنا. تعود هذه الفكرة إلى أعمال تسيولكوفسكي، في نهاية القرن الماضي. إذ كان أبو علم الفلك يوحي، في كتابه "*أحلام الأرض والسماء*" بأنَّه سيكون، ذات يومٍ، في مُستطاع الإنسان أن يقود النيازك كما "يمتطي الأحصنة" ويستخدم منابعها غير المحدودة تقريباً. وقد استأنف الفكرةَ، في بداية الستينيات، المهندس الأميركي في شركة جنرال إلكتريك "داندريدج كول". إذ أوحى في كتابه "*جزر في الفضاء*"، باستخدام تفجيرات نوويّة لِحَرْف نيزكٍ عن مساره و"توجيهه" حتى الفضاء الأرضي المُستقِرّ. وبعد عِدّة سنوات، اقترح عالِم الفلك الأميركي "بريان أولري" استخدام الدافع الكهربائي الذي تصوَّره كلارك ـ أونيل لدفع النيزك. حيث سيستخدِم الجهازُ المُثبَّتُ على سطح النيزك الطاقةَ الشمسيّة ليقذِف جزءاً من الريغوليت في الفضاء. فَوفق مبدأ نيوتن في الفعل وردّ الفعل، سيتلقّى النيزك دفعةً في الاتِّجاه المُعاكِس وسيشرع في السير ببطء. ميزة هذه الطريقة أنها لا توجِب نقلَ الكتلة اللازمة للدفع من الأرض.

بعد رحلةٍ تستغرق عِدّة سنوات على مسارٍ مُحلزَن، سيصِل النيزكُ إلى الجِوار الأرضي، يقودُه "رعاة بقر" الفضاء. حينئذٍ يتمكّن عمّال مناجم الفلَك من أن يبدؤوا عملَهم، مُستخدِمين الطاقة الشمسية لتسخين سطح النيزك. في حال النيازك الصخريّة، تكفي عِدَة مئات من درجات الحرارة لصهر الريغوليت. وقد يسمح تطبيق الحقول المغناطيسيّة لاحقاً بأن يُستخلَص منها الحديد، والنيكل، والمعادن الأُخرى. وربَّما تتعقّد المسألة في حال النيازك الحديديّة، الأغنى كثيراً بالمعادن، لكنَّها شديدة القساوة. ومع حرارة الـ 2000 درجة اللازمة لِصهر سطحها، تتفاعل المعادن الأُخرى لتُنتج أخلاطاً ذات خصائص غير مرغوبة. مما يوجب التفكير بتقنيّات أكثر تطوُّراً لهذا النوع من الموادّ.

ستُزوَّد المستوطنات الفضائية بالمنابع المُستخرَجة من النيازك بسهولة، عبر نقاط "لاغرانج"، في مدار أرضي مُستقِرّ، أو على القمر أيضاً. وسيكون نقلُها إلى الأرض عمليةً مُعقّدة. وقد اقترح بعضُهم أن تُرسَل المعادن مُباشرةً إلى سطحِ كوكبنا، على مسارات محسوبة قبلاً، في حُزَمٍ من حوالي عشرة أطنان. وهكذا سوف تستفيد الحُزَم التي يُحتمل أن تُدوَّر سطوحُها بطريقة مُناسبة، من الكبح الذي يُبطِّئه الغلاف الجوِّي للأرض وتحطُّ على الأرض من دون خسائر كبيرة في أماكن خالية من الكُرة الأرضيّة. ومع ذلك، لا تبدو فكرة إرسال نيازك اصطناعية إلى كوكبنا، مُطمئِنة بما يكفي. فقد أوحى عالِما الفلك الأميركيان "ميكائيل غافّي" و"توماس ماك كورد" سنة 1980، بِمُقاربة أقل خطراً: تُجعَل الحُزَم أخفَّ من الماء، وذلك بِأن تُحقَن الغازات داخلُ المعادنِ المُنصهِرة لحظةَ استخراجها. ستُرسَل هذه الحُزَم، التي يكبحها الغلاف الجويّ بفعاليّة، إلى عرض المحيط، وستعوم فيه بانتظار انتشالها (على غرار روّاد الفضاء الأميركيين قبل وصول المكُّوك الفضائي).

يُمكِن أن يُشكِّل استغلال مصادر النيازك القريبة واحداً من الأنشطة

الفضائية الأكثر أهميّة في النصف الثاني من القرن القادِم. ومع ذلك، سيتوجَّب أن تُعرَف خصائصُها بصورةٍ أفضل (التركيب، التوزيع إلى كُتَل، التردُّد) قبل أن تُرسَل إليها البعثات الأُولى. فالمعرفة الجيدة لِمُشرَّدي الفضاء هؤلاء، فاصِلة لِسببٍ آخر: إذ تُشكِّل النيازكُ تهديداً كامناً لكوكبنا، كما سوف نرى في الفصل الثالث.

سِيَرٌ مرِّيخيَّة

سيكون المرِّيخ بلا شكّ الخطوة الآتية لمعرفتنا الكونية، ذلك الكوكب الأحمر الذي يبلور الأحلام الفضائية للبشرية في العقود الآتية. ليس المرِّيخ جارنا الأقرب، بحكم أن مداره أبعد من مدار الزُهرة بثلاثين مليون كيلومتر على الأقل. غير أن الأمر يتعلق بكوكب واحد من المجموعة الشمسية التي تقدِّم ظروفاً فيزيائية مماثلة نسبياً لظروف كوكبنا.

يعود شغف الناس بالكوكب الأحمر إلى أواخر القرن الماضي. ففي عام 1866، أعلن عالم الفلك الأميركي "آزاف هال" أنَّ المرِّيخ محوط بقمرَين صغيرين هما "فوبوس" و "ديموس" (أي، على التوالي، الخوف والرعب، في اللغة اليونانية القديمة، من اسمي إلَهين رافقا إلَه الحرب آريس، نظير المرِّيخ في البانثيون الإغريقي). ليست هذه إلا نصف المفاجأة، إذ ذُكِر القمران المرِّيخيّان، حقيقةً، في الأدب قبل اكتشافهما بزمنٍ طويل، خصوصاً في أسفار جوليفير لجوناثان سويفت، و ميكروميجا لفولتير. يعود هذا السَّبْق إلى تأثير عالم الفلك العظيم "جوهانس كبلر" في القرن السابع عشر.

كان كبلر المتصوِّف، المقتنع بتناغم طبقات الجو، يعتقد بأنَّه لا بُدَّ أن يكون للمرِّيخ قمران؛ فقد كان معروفاً آنذاك أنَّ للأرض قمراً وللمشتري أربعة. لقد بدا تنبؤه صحيحاً، حتى لو كان برهانه خاطئاً...

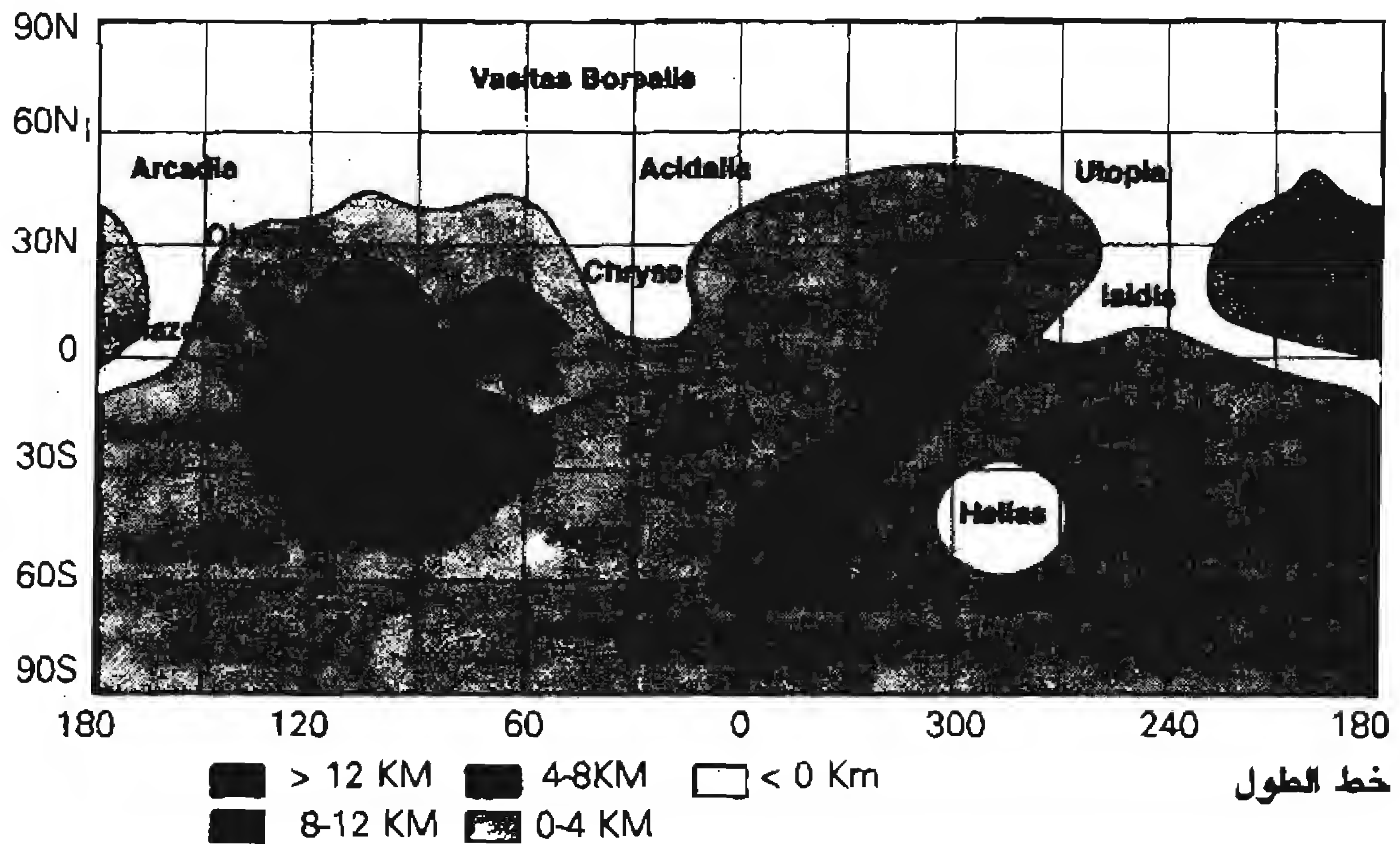
في العام نفسه، أعلن عالم الفلك الإيطالي "جيوفاني شياباريلي" عن اكتشافٍ مُثير، هو أنَّ سطح المرِّيخ مثلوم بشبكة من القنوات. كانت ترجمة الكلمة الإيطالية Canali المُقابلة لـِ canals الإنجليزية، توحي بأصلٍ اصطناعي لم يكن في ذهن "شياباريلي" عندما أعلن عن اكتشافه. ذلك أن هذا الخلْط هو الذي يثير اهتمام علماء الفلك في العالم أجمع، ويقود إلى بناء مراصد جديدة كمرصد "كاميل فلاماريون" في "جوفيزي سور أورج"، قرب باريس.

بعد خمسة عشر عاماً، أكَّد عالمُ الفلك الأميركي "لووِل"، بمساعدة مِقرابه الجديد في "فلاغستافّ" في منطقة "آريزونا" ما رصدَه "شياباريلي". فهو يرى أنَّ أصل القنوات، بالتأكيد، اصطناعي، مما يُلهِب، على الفَور، خيال الجمهور. بعدها بفترة وجيزة، ينشر "هربرت ج. ويلز"، أبو الخيال العلمي الحديث، قصَّته *حرب العوالم*. تصف هذه *القصة القصيرة* بطريقة ناجحة للغاية اقتحام *المريخيِّين* للأرض، وتُساهم بقوَّة في أن تنشر بين الناس صورةٍ مرِّيخٍ مأهول.

غير أن مُعاصِري لووِل لم يؤيِّدوه. إذ إنَّ عالِم الفلك الأميركي "بارنارد"، من مرصد "ليك"، والعالم الفرنسي "أوجين أنتونيادي" (من أصل يوناني يعمل في مرصد "مودون" مع أكبر عدسة في "أوروبا" آنذاك) لا يرى أيَّ أثر لهذه القنوات الشهيرة. من جهة أخرى، يبيِّن عالم البيولوجيا "ر. والاس" (الذي أسَّس مع شارل داروِن نظرية التطوُّر) في عام 1906، استحالةَ وجودِ ماء سائل على سطح المريخ. وهذا لا يثير أبداً حماسةَ كتّاب الخيال العِلميّ للكوكب الأحمر الذين طالما عَدُّوه مأهولاً. كذلك يكتب "إدغار بورو" (مُبدِع قصّة طرزان) بين عامي 1910 و1920 عشرات القصص القصيرة عن عالم "البارسوم"، وهو اسم المرِّيخ وفْق سكّانه ذاتهم. يُقدِّم عمله هذا لِقرّاء الخيال العلمي، مثلما تُقدِّم حقبةُ السِّيَر المريخية المشهورة للكاتب "ري برادبوري"، صورةً شعبية للغاية عن الكوكب الأحمر. لا تظهر صورة مرِّيخ صحراوي، خالٍ

من القنوات لأول مرة إلا عام 1950، من خلال قصة قصيرة كتبها "آرثور كلارك" تحت عنوان *رمال المريخ*.

لقد فجَّر ارتقاء العصر الفضائي حجمَ معرفتنا عن المرِّيخ تماماً. فعلى مدى عشر سنوات، أيّ بين مُنتصف الستينيات، ومُنتصف السبعينيات، أُرسِلَت عشرات السوابر الأميركية والسوفييتية إلى المرِّيخ. منها اثنان أميركيان هما "فايكينغ 1، وفايكنغ 2"، وضِعا على السطح وقاما بتحليل موضعي للأرض وللغلاف الجوي. بيَّن رصْدُهما أن المرِّيخ، حتى لو كان بعيداً عن العوالم الحية التي تخيَّلها "بورو" و"برادبوري"، لا يخلو من الفوائد، وهو، بِحكم أنَّه عرف ماضياً حياً، يُقدِّم لنا منظوراتٍ ساحرة للمستقبل.



الشكل 1-5. خريطة المرِّيخ مع المعالِم الطوبوغرافية الأساسية للكوكب (انظر النصّ).

يقطع المرِّيخ مداره المنحرف عن المركز حول الشمس خلال 687 يوماً، مما يجعل السنة المرِّيخية ضعف السنة الأرضية تقريباً، وبالمقابل، يساوي النهار المرِّيخي نهارنا تقريباً لأنه يدور حول محوره خلال 24 ساعة و37

دقيقة. تُقارَن مساحته التي تُعادل تقريباً 120 كيلومتراً مربَّعاً بكل المناطق البارزة من الأرض. والمرِّيخ أخفُّ عشر مرات وأصغر مرّتين من كوكبنا، كما أن جاذبيته لا تتعدّى 40% من جاذبية الأرض؛ إذ تكفي سرعة حوالي 5 كيلومترات في الثانية للهروبِ من جاذبيَّتها.

تقلُّ كثافة الغلاف الجوي للمرِّيخ، المكوَّن بشكل أساسي من غازات كربونية، مئات المرّات عن الغلاف الجوي للأرض. لا تُقدِّم هذه القشرة الرقيقة إلا حماية ضعيفة ضد الجزيئات المشحونة في الإشعاعات الكونية. وبغضِّ النظر عن الشمس، وفوائد كثافة الغلاف الجوي (الذي من الممكن أن يُحافظ على سخونةِ سطحه عن طريق الاحتباس الحراري)، يبقى المرِّيخ كوكباً مُتجمِّداً. تُقدَّر درجة الحرارة المتوسِطة فيه بـ 55 درجة مئوية، لكنْ هنالك فروق كبيرة بحسب الساعة، والفصل، وارتفاع طبقات الجوّ، وتتجاوز درجة الحرارة 0 درجة مئوية نهاراً، عند خط الاستواء في الصيف، لكنَّها من الممكن أن تهبط إلى 80 درجة مئوية تحت الصفر ليلاً.

يشبه سطح المرِّيخ صحراء صخرية كصحراء "أريزونا". تتكوَّن مادّة الريغوليت بشكل أساسي من أُكسيدات الحديد التي تمنح الكوكبَ ميزةَ لونه المائل إلى الحُمرة. إضافةً إلى غبار ناعم تُهيِّجه عواصف رملية من الممكن أن تستمر شهوراً كاملة، مُعلّقة طويلاً في الغلاف الجوي. كما أنها تنشر (بالتحديد) بشكل انتقائي تردُّدات الطيف المرئي المنخفضة، مما يُوشِّي سماء المرِّيخ بلونٍ برتقاليّ أحمرَ شاحبٍ.

يملك المرِّيخ إحدى الصفات الأكثر تميزاً في المجموعة الشمسية. إذ تُغطّي هضبة "تارسيس" الواقعة على خط الإستواء ما يُساوي مساحة أفريقيا، بارتفاع وسطي يقارب 10 كيلومترات، وهي أعلى ثلاث مرات تقريباً من هضَبة التيبت. ترتفع البراكين الثلاثة الهائلة "أسكاريوس" و"بافونيس" و"آرسيا" (المصفوفة على الجانب الغربي لهضبة تارسيس) حوالي 17 كيلومتراً عن الهضبة، أي

ضعف ارتفاع جبل إفْرست. هذه البراكين، كغيرها من تلك الموجودة على سطح المرِّيخ، خامدة منذ مئات ملايين السنين. أكثرها ضخامة هو "أولامبوس" الذي يقع غربَ هضبة تارسيس، على ارتفاع قدرُه 27 كيلومتراً، وقاعدة قطرُها 600 كيلومتر، إنه أضخمُ جبل في المجموعة الشمسية. لقد سبَّب هيجان هضبة "تارسيس"، بشكل واضح، منذ مليارات السنين من الآن، تشقُّق القشرة المريخية وتكوُّن "ثُلم" هائل مازال أثره ظاهراً: إذ يمتدّ شِعبُ "الوديان البحريّة" *Valles Marineris* (الذي يبلغ ارتفاع حوافّه حوالي 10 كيلومترات، وتفصلها مسافة 100 كم) على طول خط استواء الكوكب البالغ 4000 كيلومترٍ (أي خِمس محيطه). إنَّ فوهة "هيلاس" ذات الأصل النيزكي هي، في نصف الكُرة الجنوبي، أكبر فوهة في المجموعة الشمسية، ويُقدَّر قطرها بـ 2000 كيلومتر، وعمقها بـ 4 كيلومترات. كما أن آلاف فوّهات أخرى من كل الأحجام تشهد على الانفجار النيزكي الشديد الذي طالما تحمَّله الكوكب الأحمر (على غرار القمر وعطارد). تشكّل القلنسوتان القطبيَّتان إحدى ميزات المرِّيخ الأكثر إدهاشاً. إذ إن امتداد هذين الغطاءين البيضاويَّين، المكوَّنين من الجليد والثلج الكربوني، يختلف على مَرِّ الفصول: تتقلّصان في الصيف عندما تُصعِّد الحرارةُ جزءاً من الثلج الكربوني، ثم تسترجعان حجمهما في الشتاء عندما يتكاثف الثلج من جديد. القلنسوة القطبية لنصف الكرة الشمالي (قطرها 1000 كيلومتر، وسماكتها 5 كيلومتر)، أكبر من نظيرتها الجنوبية ثلاث مرات. من المستحيل وجود ماء سائل في ظروف الحرارة والضغط اللذين يُهيمنان الآن على الكوكب الأحمر. في الحقيقة، توجد مجرد آثار للماء في الغلاف الجوي المرِّيخي الذي يبدو أكثر جفافاً من الصحارى على الأرض. لكنّ الماء قد جرى من دون شكّ على السطح في وقت كان المناخ فيه حارّاً. توحي أعماق "الأودية البحريّة" وشِعاب أخرى (تشبه قيعان أنهار مجفّفة)، مثلما توحي عِدّة مؤشّرات جيولوجية أخرى، بأنَّ المرِّيخ قد شهد من خلال ماضي الأنهار والبحيرات أمطاراً وفيضانات، لكنَّ برودة المناخ غيَّرت الوضع تدريجياً. فقد امتصت مادّة الريغوليت المجمَّدة جزءاً من الماء

السائل مُشكِّلةً كذلك مَجْلدة تحت أرضيّة (في لغة علماء الكواكب). وانتقل الجزء الباقي إلى القلنسوتين القطبيّتين أو علِق في تعرُّجات السواقي، والأنهار، والبحيرات الجوفية التي تبعد بضعة كيلومترات عن السطح.

إذا جرى الماءُ في الماضي على الكوكب الأحمر، فهل كان من الممكن أن يُسهِم في تطوير شكلِ حياة مريخية ؟ لم تكشِف تجارب سوابر "الفايكنغ" على المرّيخ، سنة 1976، أيَّ نشاط بيولوجي، ولا أيَّ أثرٍ للحياة، حتى على المستوى المجهري. هذا لا يستبعد إمكانية وجود شكل من الحياة لاجئة في جوف الكوكب، في مأمن من الإشعاعات الكونية وفوق البنفسجية. لقد عرف تاريخ الحياة المريخية، بعد عشرين سنة من "الفايكنغ"، قفزةً مُذهلة مع نيزك ALH84001. وفقاً لتحليل التركيب الكيميائي لهذا النيزك، الذي سقط منذ 13000 سنة في القطب الجنوبي للأرض، يتبيَّن أنَّه من أصل مريخي. لكنّ عدة نتائج أخرى لِتحليله (أي وجود فئة معينة من الجزيئات العضوية أو البُنى الدودية الشكل) قد تُفسَّر بوصفها علامات حياة من نمطِ حياة الأحياء الدقيقة. غير أن نتيجة مجموعة باحثين من النازا، التي غطّتها وسائل الإعلام في صيف 1996، كما غطَت ملاحظات "لووِل" في بداية القرن، تُثير اليومَ احتجاجاً قويّاً.

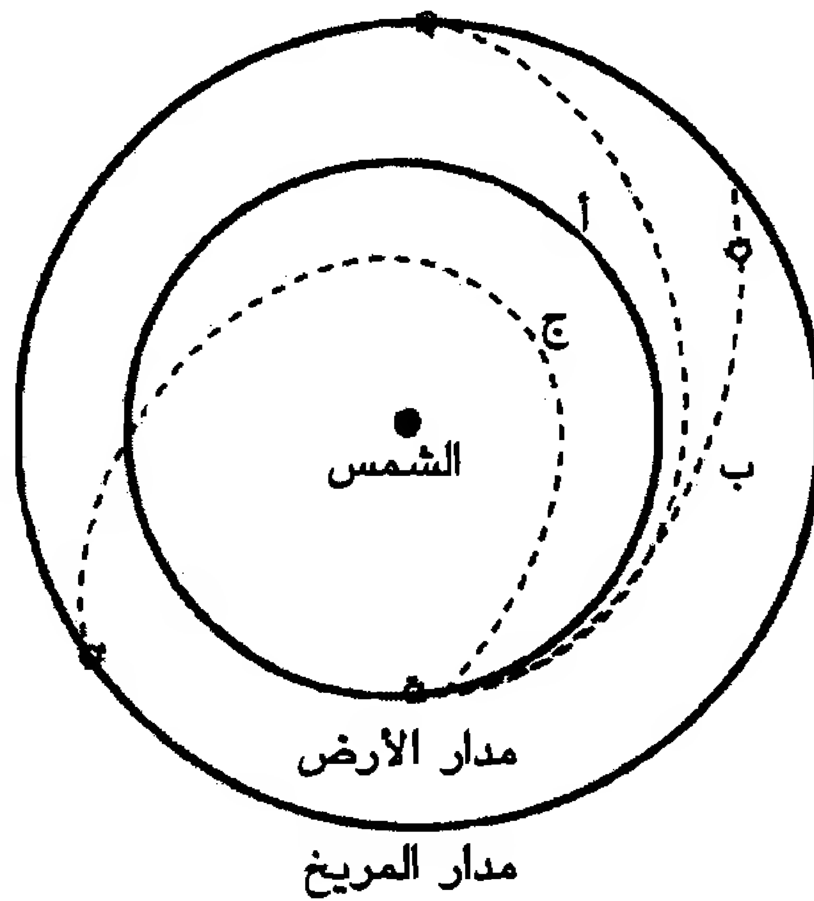
وبغض النظر عن إشكالية الحياة على المرّيخ (وكم هي هامّة)، يُمثِّل الكوكب الأحمر ما يكفي من فوائد لرسم هدفنا الفضائي الأوَّل من أجل القرن القادِم. إنَّه أصلاً مضمون برنامج بعثتين أميركيتين: المسح الشامل للمرِّيخ وكاشف طريق المرِّيخ. وفي شهر تموز/يوليو من عام 1997، وضعت البعثة الثانية على سطح الكوكب مسباراً يشمل عدة تجارب، كما وضعت عربةً صغيرةً وزنها حوالي عشرة كيلوغرامات. واستطاعت العربة الصغيرة، بفضل عجلاتها الستة، أن تبتعد عن المسبار (بسرعة نصف متر في الدقيقة) وأن تُجري تحليلات لِأرض المرِّيخ. في غضونِ السنوات العشر القادمة، ستبرمَج اثنتا عشرة بعثة أخرى بهدف موضَعة بعض المسابر في مدارٍ حول المرِّيخ، أو على سطحه،

بُغيةَ تحسين معرفتنا عن الكوكب. هكذا ستكون الأرض مُمهَّدةً للمرحلة القادمة: إرسال أوّل بعثة مأهولة إلى كوكب آخر من المجموعة الشمسية.

بحثاً عن غزو الكوكب الأحمر

حقق المهندس الألماني "ويرنر فون براون"، مُخترِع صواريخ V2، وأبو البرنامج الفضائي الأميركي، أوّل دراسة تقنية لبعثةٍ مأهولة نحو المرِّيخ. إذ صمَّم، في كتابه *مشروع المرِّيخ*، المنشور عام *1952* في مجلة *ألمانية*، أسطولاً صغيراً من عشر سُفن، تنقلُ كلٌّ منها سبعة روّاد. تتجمع *السفن* في مدار حول أرضي منخفض، بوساطة أسطول صغير آخر من مكّوكات فضائية ناقلة أيضاً خمسة ملايين طنٍّ من *الوقود* اللازم. وبعد تسعة أشهر من بدء *الرحلة*، ينزل خمسون رائداً على سطح *المرِّيخ*، مُسخَّرين خمسة عشر شهراً لاكتشاف *الكوكب*. إذاً *المدّة* الكاملة للبعثة، بما *فيها* رحلةُ الإياب، ثلاث سنوات، وهي *المدّة* نفسها التي استغرقتها أوّل رِحلة بحرية لِماجلّان ومُرافقيه، حول الأرض.

قدَّر فون براون أنَّ تكلفة هذه البعثة قد تُعادِل تكلفة "عملية عسكرية صغرى"، وهذه تكلفةٌ هائلة بالقياس إلى عملية مدنية. بعد عشر سنوات، اقترح نسخة مصغَّرة عن مشروعه تتضمَّن فقط سفينتين واثني عشر رائداً. إذ يهبط نصف الطواقم على المرِّيخ، ويقضي ثلاثة أشهر لاكتشاف الكوكب. إنَّ تخفيض المدة الإجمالية للبعثة إلى 21 شهراً، واستخدام محرِّك انشطار نووي لدفع السفن، قد يخفِّفانِ تكلفة العملية إلى حدٍّ كبير. غير أن تقرير لجنة خاصة في مجلس الشيوخ الأميركي وضع، عام 1969، نهاية لهذه المشاريع الطموحة. كانت ملحمة مشروع أبولو تبلغ نهايتها، وكان الأوان قد حان لتخفيض الميزانيات الفضائية. وعليه، فإنَّ برنامج اكتشاف المريخ بوساطة مسابر أوتوماتية، هوَ وحدَه الذي كان مايزال التفكير فيه ممكناً، على غرار برنامج فيكنغ.



الشكل 1-6. مسارات سفُن بين كوكبيّة، بين الأرض والمرِّيخ. المسار أ هو "مسار التحويل" عند هوهمان؛ تتطلَّب الرحلة حوالي 260 يوماً وبأقلّ مصروف من الطاقة. أمّا المسار ب، الأقلّ اقتصاديةً، فيتطلَّب حوالي 180 يوماً من السفر. تتِمُّ الأسفار على هذين المسارَين عندما "يترابط الكوكبان" (أي الشمس والمرِّيخ يكونان على الجانب نفسه من السماء المرئية من الأرض). المشكلة مع مسار من هذا النموذج هي أنَّ على الطاقم أن ينتظر حوالي 550 يوماً على المرِّيخ قبل أن ترتسم "النافذة" التي تسمح برحلة العودة (بِمدَّة تُعادل مدّة رحلة الذهاب)؛ وهكذا تكون المدّة الإجماليّة على الأقلّ 900 يوم. في حال المسار ج، الكوكبان "متعاكِسان" بالقياس إلى الأرض (المرِّيخ والشمس مُتعاكسان تماماً بالنسبة إلى الأرض). السفر على هذا المسار أطول بكثير (430 يوماً تقريباً)، لكنَّه يسمح بتخفيض مدّة الإقامة على المرِّيخ إلى 30 يوماً فقط. (مُقتبَس عن ر. زوبران و ر. فاغنر، حال المرِّيخ، 1996.)

تستغرق مدّة الأسفار إلى المرِّيخ بضعة أشهر، مع وسائل الدفع الراهنة. بُغية أن تقتصد السفينة وقودَها، وتُخفِّض بالتالي، تكلفة البعثة، يجب أن تتَّبع مساراً إهليلجياً يُلامس أحد طرفيه مدارَ الأرض، والآخر مدار المرِّيخ. في عام 1925، لاحظ المهندس المعماري الألماني "وولتر هوهمان" أنَّ هذا النوع من المسارات يسمح بنقل شيءٍ مّا بين كوكبين بأقلّ مُعدَّل من استهلاك للطاقة. لكن عَيْب "مدار هوهمان" هذا هو المدة اللازمة لاجتيازه. فَوفقاً لوضع الكوكبين المتبادَل في تاريخ الإطلاق، تستغرق مدة السفر إلى المرِّيخ تسعة أشهر، لكنَّ من

الممكن القيام برحلات أسرع بالتأكيد. غير أنها تتطلب استهلاكاً أكبر للطاقة، سواءٌ من حيث التسريع عند الانطلاق أم من حيث الإبطاء اللازم للانضواء في مدارٍ حول مرِّيخي عند الوصول.

في الحقيقة، السفينة التي تُقلِع من الأرض إلى الفضاء بين الكوكبي، قادرة على الانطلاق بسرعة 108000 كيلومتر في الساعة، أي بسرعة دوَران الأرض حول الشمس. هذه السرعة العالية (التي ترتفع قليلاً عند تشغيل محرِّكها) هي التي تسمح، خلال بضعة أشهر، باجتياز 400 مليون كيلومتر على مدار هوهمان بين الأرض والمرِّيخ. لكنَّ الكوكب الأحمر يدور حول الشمس بسرعة أقل بقليل من سرعة الأرض، أي بسرعة مدارية تقارب 86000 كيلومتر في الساعة. تصل السفينة إذاً إلى جوار المرِّيخ بسرعة نسبية تعادل تقريباً الفرق بين سُرعتين مداريَّتين بحوالي 20000 كيلومتر في الساعة. وللانضواء في المدار حول المريخي، عليها أن تُخفِّف سرعتها إلى 2700 كيلومتر في الساعة، وإلا فلن تكفي جاذبية الكوكب للاحتفاظ بها، وتُتابع انطلاقها في الفضاء. يتطلَّب هذا الإبطاء، على غرار احتمال الهبوط، استهلاكاً كبيراً للطاقة كالعمليات المعاكسة عند رحلة الإياب إلى الأرض ...

وبغض النظر عن التكلفة الاقتصادية، تطرح المدة الطويلة للبعثات سلسلة من المشاكل المتعلقة بِصحَّة أفراد الطاقم. فقد بيَّنت التجارب على روَّاد الفضاء السوفييت في محطة مير، أن إقامة مديدة في انعدام الجاذبية تُسبِّب إتلاف النُّسُج العضلية والعظمية، وكذلك الجهاز القلبي الوعائي. لكنَّ برنامجاً مُكثَّفاً من التمارين اليومية يسمح بمكافحة هذه التأثيرات جزئياً، إذ تزول بعد عِدَّة أيَّام، أو بضعة أسابيع من العودة إلى الأرض. وإذ يتوجَّب على روَّاد الفضاء أن يباشروا العمل فور وصولهم إلى المرِّيخ، يجب النظر على الأرجح في تزويد السفينة بنظام جاذبية اصطناعية (وهذا لا يسهِّل عمل مُصمِّمي البعثة!).

تشكل الجزيئات المشحونة التي تذرع الفضاء بين كوكبي الخطرَ الثاني على روَّاد الفضاء. إذ إنَّ طاقة جزيئات الريح الشمسية تقل عن 1 ميغا إلكترون

فولت MeE (وحدة الطاقة في الفيزياء النووية)، ومن الممكن أن يصُدَّها تصفيح بسماكة عِدَّة سنتيمترات. غير أنَّ كثافتها يمكن أن تزيد كثيراً خلال الانهيارات الشمسية. تُشوِّش "طفراتُ مزاج" سطح نجمنا هذه، المجالَ المغناطيسي للأرض، واتصالاتنا اللاسلكية. وبالمقابل، يظلُّ فيض الإشعاعات الكونية القادم من المجرَّة شبهَ دائم، لكنَّ طاقتها الفردية أعلى بمئات المرّات؛ حيث لا يصدُّها إلا تصفيح من بضعة أمتار، وهذا غير وارد في سفينة فضائية. إذاً على روَّاد الفضاء أن يُواجهوا هذه المشكلة خلال الرحلة، وخلال الإقامة على المرِّيخ أيضاً. بالفعل، تصدُّ سماكة الغلاف الجوي المرِّيخي الرقيقة جزيئات الريح الشمسية، لكنها لا تصدُّ جزيئات الإشعاعات الكونيّة. بِحسَبِ عددٍ من التخمينات، قد تزيد الجرعة الإجمالية للجزيئات المشحونة التي يتلقَّاها رائدُ الفضاء خلال بعثة سنتين إلى المرِّيخ (التي تشمل رحلة الذهاب والإياب، والإقامة على الكوكب) بضع درجات مئوية من خطر الموت بالسرطان. ومع ذلك، يجب التشديد على أنه إذا كانت تأثيرات التعرُّض لفيضٍ كثيفٍ من الجزيئات معروفة جيداً (خصوصاً بعد انفجارَيْ هيروشيما وناغازاكي)، فإنَّ معرفة تأثيرات التعرُّض الطويل لفيضٍ ضعيف، أقلُّ بكثير ...

يجب أن نُضيف إلى المخاطر الحقيقية التي يتعرَّض لها طاقَم بعثة بين كوكبية، الصعوباتِ النفسية. فَماذا يمكن أن يكون تصرُّف بعض الأشخاص المُجبَرين على البقاء بعضهم إلى جانب بعضهم الآخر طيلةَ رحلةٍ مُملَّةٍ في حيِّز بالغ الصغر؟ كيف يُمكن أن يكون شعورهم يا ترى وهم يعلمون أنَّهم، في حال الخطر، لا يستطيعون الاعتماد إلا على وسائلهم الخاصة (شبه المعدومة في الحقيقة)، نظراً إلى أن أية مساعدة من الأرض مُستبعدة؟

هذه الظروف أقسى بكثير من الظروف التي يتحمَّلها العاملون في قواعد القارّة المُتجمِّدة، أو طواقِم الغوّاصة التي تبقى مغمورة لمدة أشهر، وفي الحالَين، يمكن أن يأتي اتصال لاسلكي بالنجدة على جَناح السُّرعة. كان روّاد البعثات إلى

القمر يعرفون أيضاً أنَّ بإمكانهم، إن واجهَتْهم مشكلة، العودةُ إلى الأرض خلال عِدّة ساعات. لا بُدَّ أنَّ روّاد أوّل بعثات مريخية كانوا يملكون بالتأكيد "شِيَم الأبطال".

لقد أوحى بعضُهم بأن بعثة من بضعة أسابيع إلى كويكبٍ قريب قد تشكِّل تدريباً ممتازاً لطواقِم البعثات إلى المرِّيخ. كما أوحى آخرون بأن التآلف مع العمليات الفضائية على القمر (المحقَّقة بتكلفة متواضعة نسبياً)، يسبق مشروع أية بعثة مأهولة إلى المرِّيخ. وفي الحقيقة فإن استخدام الأكسجين القمري كوقود للصاروخ، متناسقاً مع الجاذبية الضعيفة لقمرنا، يجعل منه مدرَج إطلاقٍ فتَّاناً للبعثات بين الكوكبية. لكنَّ هذه الخطوة الحذِرة قد تؤخِّر البعثات المأهولة عِدَّة عقود.

هذه الصعوبات لم توهِن عزيمةَ مُناصِري "اقتحام" الكوكب الأحمر في مستقبلٍ قريب. فقد نُظِّمت سلسلةٌ من المؤتمرات في الولايات المتحدة، بدءاً من الثمانينيات تحت عنوان "الدفاع عن المرِّيخ". وهدفها الأساسي: إيجاد حلول تقنية تسمح، قدْر المستطاع، بتخفيض تكلفة بعثة مأهولة. أبسط المخطَّطات كانت تتضمَّن، في الواقع، استهلاكَ كمية باهظة من الوقود (بضعة مئات من الأطنان) يجب أن تُنقَل من الأرض إلى الفضاء حول الأرضي وتُستخدَم في رحلات الذهاب والإياب كما في اكتشاف الكوكب. وفي أكثر الأحوال تفاؤلاً، ترتفع تكلفة هذا النوع من البعثات إلى مئات مليارات الدولارات، أي أعلى عدّة مرّات من تكلفة برنامج أبولو.

إن التقنية التي تسمح باقتصاد هام للوقود هي تقنية كبْح جوِّي (من اللغة اليونانية *aer* = "هواء"): تتوغَّل السفينة في الغلاف الجوي للمرِّيخ، ويسبِّب احتكاكها مع الطبقات العليا إبطاءً كبيراً في سرعتها، بعد دقيقة أو اثنتَين. تخرج السفينة ثانيةً من الغلاف الجوِّي بسرعة مُخفَّضة، وتنضوي في المدار حول الكوكب.

لكن فترة الكبح هذه قد تكون قاسية جداً على روّاد الفضاء. فَبعد بضعة أشهر من حالة انعدام الوزن (أو في حال جاذبية ضعيفة)، قد يشعرون فجأة بأنَّ ثِقل أجسامهم التي تزِن أكثر من ثلاثة أو أربعة أطنان، يسحقهم. ينتجُ عن هذه الحركة خطرٌ آخر في الواقع، لأنَّها تتطلَّب كثيراً من الدقَّة في تعيين زاوية الدخول إلى الغلاف الجوي. قد يحرِّض مسارٌ متعمق تبخُّرَ السفينة مع الاحتكاك الجوِّي، على غرار النيازك الصغيرة التي تقتحم الغلاف الجوِّي للأرض. وفي مسار زائد التماسّ، قد تثِبُ السفينة إلى أعلى الغلاف الجوي، وتمضي من جديد في الفضاء حيث تضيع إلى الأبد. وإن لم يطرح استخدام الكبح الجوِّي مشكلاتٍ دقيقة في حال السفن الأوتوماتية، فالأمر ليس كذلك في البعثات المرِّيخية المأهولة ...

وكما في حال البعثات القمرية، يُخفِّض استخدامُ الثروات المحليّة تكلفة البعثة من الطاقة إلى حدٍّ كبير. هكذا تمَّ اقتراحُ أن تُستخدَم أقمار المرِّيخ كـ "محطات تموين" بالوقود. في الحقيقة، إن فوبوس وديموس كويكبان لا تزيد أبعادُهما عن ثلاثين كيلومتراً للأوَّل، وخمس عشرة للثاني. وجاذبيتهما الضئيلة تُتيح الوصول إلى سطحهما. وتركيبهما الكيميائي ليس معروفاً بدقّة، لكنَّ لونهما الغامق وكثافتهما الضعيفة تذكِّر بالحُبيبات المُكربَنة الغنيّة بالعناصر المتبخِّرة. من الممكن إذاً أن تكون الأقمار المرِّيخية مكوَّنة من كميّات كبيرة من مياه جليديّة أو ممّا يمتصُّه الريغوليت منها؛ ويُمكِن أن تغذِّي مكوِّناتُه من الهيدروجين والأكسجين محركاتِ الصواريخ للهبوط على المرِّيخ، ولرحلة الإياب. لقد اقترح هذه الفكرة عام 1939، "آرثور كلارك"، في مقالٍ له نُشر في صحيفة الجمعيّة البريطانية بين ـ الكوكبية. كما أنَّ الفكرة قد طُرحت باكراً وبوضوح في المشهد الفضائي. وكان لا بُدّ أن تؤكِّد بعثاتٌ آليةٌ مستقبلية أفكارَنا عن تركيب هذين القمرَين، لأن وجود الماء ليس مؤكَّداً اليوم. ومع ذلك قد يُعقِّد إدخال مراحل وسيطة عمليةَ نقلِ (وحتى تكلفة) بعثةٍ من هذا النوع.

استيطان المريخ

إن خطّة المهندس الفضائي الأميركي "روبيرت زوبرن"، هي، في الوقت الراهن، الأبسط والأكثر إتقاناً، وعلى الأرجح، الأكثر واقعية، بين مختلف خطط البعثات المأهولة. يقوم هذا المشروع، المُسمَّى مارس دايركت ومعناها "المريخ مباشرة"، والذي تمَّ وضعُه في بداية التسعينيات، على استخدام الثروات المرِّيخية. وتأتي فائدته الثانية من إطلاق السُّفن من الأرض دون اللجوء إلى التجميع في المدار، وذلك بواسطة تقنية موجودة سابقاً. إذ تنتمي أجهزة الإطلاق إلى نفس فئة ساتورن 5 التي استعملت في *أبولو أو* فئة *إينرجيا الروسية*. وبالمقابل، تحتاج كل بعثة *إلى* إطلاق سفينتين، سفينة *آلية وأخرى* مأهولة.

وفقاً لخطط زوبرن، تُطلَق السفينة الآلية أوّلاً. وتنقل حمولة مفيدة من حوالي ثلاثين طناً، تحتوي على عربة رحلة إياب روّاد الفضاء مع المؤَن اللازمة، ومفاعل نووي صغير (انشطاري)، ومصنع كيميائي صغير، وعرَبتَي استكشاف، وستّة أطنان من الهيدروجين السائل. عند وصولها إلى المريخ بعد ثمانية أشهر، تخفف السفينة سرعتها بواسطة كبح جوِّي ومن ثَمَّ، تحُطُّ على السطح. يبدأ بعدها المفاعل النووي بتقديم الطاقة اللازمة لتشغيل المصنع. هذا الأخير، يمتصُّ الغاز الكربوني من الغلاف الجوِّي ويُركِّبه مع الهيدروجين لإنتاج الميثان والأكسجين. يُستخدم احتراق الميثان فيما بعد لِدفع العربات المرِّيخية، وعربة رحلة الإياب. لقد اعتُمدت هذه الاستراتيجية لأنَّ من الصَّعب الحفاظ على الهيدروجين، المنقول من الأرض، سائلاً (نظراً لأنَّ الحرارة المرِّيخيّة أعلى بكثير من درجة غليان الهيدروجين، وهذا قد يحتاج إلى تجهيزات ثقيلة ومُكلفة للحرارة المنخفضة). كذلك يُنتج المصنع كميّاتٍ إضافيّة من الأكسجين بالتفكيك المباشر لِغاز الكربون. بعد عشرة أشهر من الاشتغال المستمرّ، يتِمّ إنتاج وتخزين حوالي المئة طَنّ اللازمة من الميثان/الأكسجين. إذاً يستطيع المراقبون على الأرض إعطاء الضوء الأخضر للمرحلة القادمة في البعثة.

أمّا السفينة المأهولة، التي تنقل فقط أربعة رواد ومؤَنهم في رحلة الذهاب (كما تنقل مركبة ثالثة)، فتسلك، بدورها، طريق المرّيخ. يبقى الطابق الأخير من جهاز الإطلاق، بعد أن يستنفِد مادّته القابلة للاحتراق، مربوطاً بالعربة المأهولة بواسطة سلكٍ يبلغ طولُه 1500 متر. يضع إشغال الصواريخ الصغيرة الجانبية مجموعة النظام (العربة المأهولة + السلك + طابق الإطلاق) في حركة دوران حول مركز جاذبيته خلال دقيقة. تخلق القوة النابذة جاذبيةً اصطناعيةً من 0.4ج (أي 40% من جانبية الأرض) في العربة، تتيح لرواد الفضاء أن يتكيّفوا مع الجانبية المرّيخية خلال السفر. عند وصول السفينة إلى وجهتها، ينزع السلك وتخفّف السرعة بواسطة كبح جوّي، ثم تهبط السفينة على السطح، في أقرب ما يمكن من تجهيزات السفينة الآلية.

يبقى الطاقم في المرّيخ مُدّة 500 يومٍ أرضي، لأن مدارات هوهمان تتطلّب أن تنتظِم الأرض، والمريخ، بطريقة مُعيّنة، عند الإطلاق؛ إذ لا تتكرّر الفترات المناسبة للإطلاق (الملقبة بالنوافذ) إلا كلّ سنتين تقريباً. خلال هذه الإقامة الطويلة، يستكشف الطاقم (دوماً باللباس المؤمّن قبلاً، ما عدا داخل العربة المأهولة) سطحَ الكوكب بمساعدة ثلاث عربات. مع وصول "النافذة" التالية، يصعد روّاد الفضاء على متن عربة الإياب، ويُمضُون ستة أشهر في انعدام الجانبية على مدار هوهمان، ويستخدمون الغلاف الجوّي الأرضي من أجلِ كبحٍ جوّي جديد. كذلك، تنضوي عربة الإياب في مدار حوْل أرضي مُنخفِض، ثم يأتي طاقَم مكّوك آخر للعودة بروّاد الفضاء، فتكون بعثتهم قد استغرقت، إجمالاً، ثلاثين شهراً.

قد ترتفع تكلفة برنامج "مارس دايركت" Mars Direct، وفقاً لتصورات زوبرن، من 30 إلى 50 مليار دولار، مُخصّصة لتطوير المواد اللازمة. لكنّ هذا لا يمثل إلا نصف تكلفة مشروع أبولو، وعُشر تكلفة المشاريع "الكلاسيكية" للبعثات المرّيخية. ينبغي إضافةُ ملياري دولار لكل إطلاق، لأنّ خطط برنامج

"المرِّيخ مباشرة"، تتصوَّر إرسالاً مُنتظَماً للسفن إلى المرِّيخ، بمناسبة كل "نافذة". إن الهدف، على المدى الطويل، ليس فقط معرفة أفضل بالكوكب الأحمر، بل إقامة قواعد مرِّيخية من أجل استقلاليةٍ مُتعاظِمةٍ باستمرار.

قد تكون الخطوة الأولى نحو إنشاء هذه القواعد تجهيز أراضٍ لزراعة البقول، تحت قبب من البلاستيك الشفّاف، قابلة للنفخ. تمتصُّ هذه القبب الإشعاعات الشمسية فوق البنفسجية (الضارّة للنباتات) وتسبب احتباساً حرارياً يؤدي إلى تسخين الريغوليت. ومن الممكن أن تنمو أنواع مختلفة من النباتات التي تؤكَل، تحت القبب حيث سيُغذِّيها الغاز الكربوني في الغلاف الجوِّي، وماء أرض المرِّيخ، الذائب. حيث يحتوي المرِّيخ، خلافاً لحال القمر، على كل العناصر المتبخِّرة اللازمة لتطوير وسَط حيوي. كما يحتوي، طبعاً، على المعادن اللازمة لبناء التجهيزات المختلفة، أو الألواح الشمسية. من جهة أخرى، يُمكن أن يحتوي المرِّيخ على كمياتٍ كبيرة من الطاقات الجوفية، سهلة الاستغلال. وفقاً للتقديرات الراهنة، تقع طبقات مهمة من الماء السائل على بضعة كيلومترات تحت السطح بدرجات حرارة تختلف بين 100 و300 مئوية. تسمح الوسائل الحاليّة بالحفر على هذا العمق في المريخ، دون أيّة مشكلة. وقد يُدير الماءُ الساخن، المتفجِّر من جوفه، عنَفاتِ محطّات الحرارة الجوفية، قبل أن يتكثّف. قد يُسهِّل تَوفُّر كميّات كبيرة ورخيصة من الماء والطاقة، عمل المستوطنين كثيراً، ومن الممكن، وفقاً لخطط زوبرن، أن يعمل عشرات الآلاف من الأشخاص على المرِّيخ في أواخر القرن الواحد والعشرين.

حتى لو بدا إنشاء هذه القواعد المريخية سهلاً نسبياً، تبقى نسبة المدَّة والخطر، وتكلفة الرِّحلات نحو الكوكب الأحمر مُرتفِعةً بما فيه الكفاية خلال بضعة عقود. كيف من الممكن إذاً تسويغ تكلفة برنامج استيطان المرِّيخ ؟ هل استكشاف سطحه، المفصّل، ودراسة ماضيه (وخصوصاً إمكانية تطوير شكل حياة مّا)، سببانِ كافِيان ؟ في الحقيقة، يدفعنا التقدُّم الرّاهن لأجهزة الإنسان

الآلي، إلى التفكير في إمكانيّة أن يتِمَّ هذا الاستكشاف أيضاً بفضل برنامج آلي، بتكلفة أكثر تواضعاً بكثير. فالمرِّيخ، على عكس الهليوم-3 القمري، أو معادن النيازك، لا يبدو أنَّ فيه ثروات مُهمَّة لاقتصادِ الأرض.

يعترف أنصار البعثات المرِّيخية المأهولة بأهمية هذه النقطة لكنهم، على الرغم من هذا، لا يطمئنُّون كذلك. يشدِّد زوبرن في كتابه الحديث حال المرِّيخ على الأهمية الكامنة للكوكب الأحمر بوصفه "موقِعاً أمامياً" للبعثات نحو منطقة الكويكبات. وقد رأينا في الفصول السابقة أن الكويكبات القريبة لا تشكِّل إلا جزءاً ضئيلاً من عدد سكان ضخم يقيم في منطقة تقع بين مداري المرِّيخ والمشتري. تعُجُّ هذه المنطقة بمئات مليارات الأَجرام، أضخمها سيريس الذي يبلغ قطره 900 كيلومتر. يُسهِّل ضعف جاذبية هذه النجوم الوصولَ إلى سطحها؛ وهي، على غرار الكويكبات القريبة، تمثِّل "مناجمَ مفتوحة"، ذات أهمية احتياطية لاحتياجات حضارتنا في غضون القرون والألفيّات القادمة.

قد تستطيع القواعد المرِّيخية، بسبب قُربها، تموين البعثات إلى منطقة الكويكبات بتكلفة تقِلُّ كثيراً عن تكلفة تموينٍ قادمٍ من الأرض. يوحي زوبرن بأن استيطان الكوكب الأحمر قد يستجيب لتنمية المثلَّث الاقتصادي "الأرض ـ الكويكبات ـ المريخ". إذاً الأرضُ (والمستوطنات فضائية حول الارضية) تزوِّد المرِّيخ بمنتجات عالية التقنية، كما يزوِّد الكوكب الأحمر منطقةَ الكويكبات بمنتجات صناعية ذات تقنيات ضعيفة بالإضافة إلى المؤَن؛ وأخيراً، تزوِّد منطقةُ الكويكبات الأرضَ والمستوطنات الفضائية بمعادنها الثمينة.

لا يبدو هذا المنظور البعيد غير واقعيّ. ومن جهة أخرى، تُبيِّن بضعة أمثلة تاريخية أنه غالباً ما يكون من الصعب فحص الإمكانيات الاقتصادية لأرض بعيدة. وهكذا، باع نابوليون بونابرت، عام 1803، حوالي ثلث المساحة الحاليّة للولايات المتحدة، بمقابل لا شيء تقريباً (80 مليون دولار)، كما باع القيصر ألكسندر الثاني منطقة آلاسكا للأميركيين دون أن يُخامره الشك في ثرواتها من

الذهَبِ والنفط. وقد يكشف المستقبل عن كامن من الثروات المريخية لا يخطر اليوم على بالِ أحد.

بمعزلٍ عن مخزون المرِّيخ، الاقتصادي، فهو يُلهِب الآن خيال رجال العلم بقدر ما يُلهِب خيالَ قُرَّاء الخيال العلمي: إنَّه يقدِّم إمكانية خلق عالم جديد ...

تاهيل تُربة المرِّيخ

شرعت البشرية، منذ فجر تاريخها، في تغيير بيئتها. لطالما كان فعلها مقصوراً على مستوىً محلي. الله وحده، كان القادرَ على خلق عوالم كاملة، وكواكب مزوَّدة بمناخ، ومملكة نباتيّة، وحيوانيّة. يتخيل "جون ملتون" في قصته *الفردوس المفقود* أن الملائكة تساعد الله في عمله، وتحني مركز دوَران الأرض لتزويد كوكبنا بدورة فصول.

تظهر فكرة الإنسان القادر على تغيير مناخ الكواكب كلياً، لأول مرة في أدب الخيال العلمي عام 1930. حيث يصف الكاتب الانجليزي أولاف ستابلدون في عمله الأكبر *آخر البشر وأوَّلهم*، مشروعاً ضخماً يستأنفه أحفادنا في المستقبل البعيد ليجعلوا سطح الزهرة قابلاً للسُّكن. عمليّاً، كنا نجهل آنذاك كل شيء عن ظروف الغلاف الجوِّي على كوكبنا ـ الشقيق، غير المرئي تحت غطائه الغائم. لقد تخيَّل ستابلدون تخصيباً صناعياً لسطح الزهرة بنباتات خاصة، "مُنتَجة بيولوجياً" (!) حيث يحرِّر التمثيل الضوئي الأكسجين اللازم للتنفُّس.

بعد اثني عشر عاماً يستخدم الكاتب الأميركي "جاك ويليامسون" في قصة الخيال العلمي مسار الاصطدام، كلمة "تاهيل تربة المريخ" لتلقيب تحوُّل السطح من نجمٍ إلى عالَمٍ قابلٍ للسُّكن. كانت قصة ويليامسون، خلافاً لقصة ستابلدون، غير واقعية على الإطلاق، لكنَّ مصطلح "تاهيل تربة المرِّيخ" قد فرض نفسه في الأدب الانجليزي. لم تنل ترجمته إلى الفرنسية بتكوين الأرض

géopoïèse (من الإغريقية "غايا" أي "الأرض"، وpoiein، أيّ "صنع، كوّن") نجاحاً يُذكَر؛ سنستخدم هنا إذاً مصطلح "تأهيل تربة المرِّيخ". يفضِّل بعضهم اليوم استخدامَ المصطلح الشامل "الهندسة الكوكبية" للدلالة على كلِّ عملية تغيير كلِّي لمناخ الكوكب، والاحتفاظ بِمصطلح "تأهيل تربة المريخ" للدلالة على إنشاء بيئة متطابقة تقريباً مع بيئة الأرض.

يظهر أول نصّ علمي عن تأهيل تربة المرِّيخ عام 1961. إذ ينشر عالم الفضاء الأميركي "كارل ساغان" في مجلة "سانيس" مقالاً عن إمكانية جعل سطح الزهرة قابلاً للسكن. يقترح استخدام جراثيم تتمثّل الغاز الكربوني والماء (الذي كان مشكوكاً في وجوده آنذاك في الغلاف الجوِّي للزهرة)، وتثبِّت الكربون وتُعيد الأكسجين. سيخفِّف تخفيض كميّة الغاز الكربوني الاحتباسَ الحراري المُتلازِم معه، ويؤدِّي إلى إنعاش الغلاف الجوِّي للزهرة. وستهبط درجة حرارته إلى مستوى أقلّ من القيمة الحاليّة بحوالي 700 كلفن. فيما بعد، بدت هذه الفكرة، كما سوف نرى فيما يلحق من هذا الفصل، غير واقعية. غير أنها ألهمت عديداً من كتّاب الخيال العلمي، الذين "أهّلوا تربة" نجوم المجموعة الشمسية كلّها تقريباً، في قصصهم القصيرة ...

قبل أن نقدِّم بعض مشاريع "تأهيل المرِّيخ" الراهنة، فلنتذكّر أنَّ الكائنات الحيَّة سبق أن غيَّرت البيئة العامَّة لكوكبنا. التمثيل الضوئي للطحالب الزرقاء (ومن ثَمَّ النباتات الأخرى) هو الذي غذّى، منذ مليارات السنين الآن، غلافَنا الجوي بالأكسجين تغذيةً تدريجية، وسمح بظهور مملكة الحيوان. ومنذ زمنٍ، يغيِّر الإنسان مناخ كوكبه لاإرادياً، وخصوصاً بإنتاج غازات الاحتباس الحراري (الغاز الكربوني وغازات الفلوروكربون CFC). حتى لو كان تحكُّم الإنسان بالوضع ضعيفاً، فهو قادرٌ بالتأكيد على أن يُغيِّر ظروف الغلاف الجوي على الكواكب الأخرى، نحو الأفضل أو نحو الأسوأ.

لقد بيَّنت الدراساتُ الجارية منذ الستينيات أنَّ المرِّيخ هو، على الأرجح،

الكوكب الأكثر سهولة (أو بالأحرى الأقل صعوبة!) لتأهيل التربة من بين نجوم المجموعة الشمسية كلّها. الكوكبُ الأحمر اليوم "مُعادٍ" لأيّ شكل حياة أرضية : إذ إن غلافه الجوي قليل الكثافة، كما أنه بارد جداً وسامّ، بينما لا تنِي الإشعاعات الكونية وفوق البنفسجية تُفجِّر سطحَه. يحتاج الإنسان إذاً، كي يرحل إلى المرِّيخ، إلى لباسٍ مُدفِّأ، مُكيِّف الضغط، ومؤكسَج، كما لو كان على القمر.

غير أن الماء قد جرى بالتأكيد على المرِّيخ، مما يُبرهن على أنَّ الحرارة والضغط الجوي كانا مرتفعَين فيه، في الماضي. لإعادة الكوكب إلى هذه الحال، يجب، "ببساطة" تزويده بغلاف جوِّي كثيف، يتكوّن من كميّات مناسِبة من غازات الاحتباس الحراري؛ وهذا قد يسبِّب ارتفاع درجة الحرارة الوسطية، ويجعل وجود الماء السائل ممكناً. بمقدورنا إذاً الانتقال إليه دون لباس مدفًّا، ومُكيِّف الضغط، لكن دائماً مع كمّامة أكسجين. للتخلي عن هذه الكمامة، يجب إدخال كميات كبيرة من الأكسجين في الغلاف الجوِّي المرِّيخي.

يملك المرِّيخ اليوم كلّ العناصر المتبخّرة اللازمة لجعله قابلاً للسكن: إذ يحتوي على الماء، والآزوت، والكربون، والأكسجين (هذان الأخيران مُركّبان في غاز كربوني). لكنَّها ليست موجودة فيه على شكل غازي، إلّا أنها متكاثفة في أرض الكوكب وفي القلنسوتين القطبيّتَين؛ فمُحتوى الغلاف الجوي من الغاز الكربوني ضعيف جداً، ولا يُنتِج إلا نسبة ضئيلة من الاحتباس الحراري. لا تسمح معرفتُنا الحالية عن مكوِّنات القشرة المرِّيخية بتأكيد أن أحواض هذه العناصر المتبخِّرة كافية لتأهيل تُربة الكوكب بشكلٍ كامل. كذلك، تلجأ بضعة سيناريوهات إلى ثروات من خارج المرِّيخ : يُفكِّر مثلاً في إدخال كميات كبيرة من العناصر المتبخِّرة في الغلاف الجوي بمساعدة كويكب ذي مكوِّنات متوافقة، يُرسَل لِيتفجَّر على الكوكب.

لقد تمَّ تخصيص عدد مُذهِل من الأبحاث لدراسة تغيير مناخ المرِّيخ. تبدأ

السيناريوهات كلُّها بتسخين بَدئي للغلاف الجوِّي؛ عندما تتجاوز درجة الحرارة عدداً من العتَبات، تبدأ تأثيرات من نوع "كُرَة الثلج". بفضل هذه الظواهر ذاتيّة الصيانة، تتضخَّم عملية التسخين، من دون الحاجة إلى تدخُّل بشري مستمِرّ.

الدراسة الأكثر تفصيلاً هي، على الأرجح، دراسةُ باحِثَيْ النازا، "كريس ماكاي" و"أوين تون" و"جيمس كاستينغ" المنشورة في مجلة الطبيعة (Nature)، عام 1991. يبدأ مُخطَّطُهم المفصَّل بإدخال شامل لغازات الفلوروكربون في الغلاف الجوِّي، وذلكَ لِرفْع معدَّل درجة الحرارة عشرينَ درجة. لا يمكن أن تُنقل الكميات اللازمة من غازات الفلوروكربون، أي عشرات مليارات من الأطنان، من الأرض. لذا سيتِمُّ تجهيز العديد من المصانع على سطح المرِّيخ. وقد تستلزم احتياجات هذا المشروع مُعدَّل إنتاج سنوي يفوق بمئات ملايين المرَّات مُعدَّل إنتاج صناعتنا على الأرض. عندما يبلغ متوسط درجة حرارة الكوكب 35 درجة تحت الصفر تبدأ القلنسوتان القطبيَّتان والريغوليت بإطلاق غازها الكربوني، مُعزِّزةً الاحتباس الحراري وتسخين الكوكب. غير أن خزّان الغاز الكربوني الكامل لا يبدو كافياً للحصول على إذابةِ التربة الجليدية في المرِّيخ وتحرير الماء السائل. يجب إذاً تجهيز وسائل إضافية. لقد اقترح كارل ساغان وزميله جيمس بولاك استخدام الجراثيم التي يمكن أن تعيش على الكوكب حين يبلغ الضغط الجوي عُشْر ضغط الأرض. قد تتمثَّلُ هذه الأجسام الدقيقة آزوت الريغوليت لإنتاج الأمونياك، وهو غاز احتباس حراري آخر، سيزيد أكثر تسخينَ الغلاف الجوِّي.

كذلك سيلزم فِعلٌ مُركَّب من عدَّة عمليات متكاملة (أي الإنتاج الصناعي لغازات الفلوروكربون، وإطلاق الغاز الكربوني، وإدخال الجراثيم)، لإنجاز أول مرحلة من تأهيل المرِّيخ. يكون الكوكب قد زُوِّد بغلاف جوي تعادل سماكته سماكة الغلاف الجوِّي الأرضي تقريباً، لكن من المستحيل تنفُّسُه لأنّه مكوَّن أصلاً من الغاز الكربوني؛ إذ إنَّ متوسِّط حرارته 0 درجة مئوية، ممَّا يسمح بإذابة طبقة التربة الجليدية السطحية في المناطق الواقعة على خط الاستواء. ستتطلَّب

هذه المرحلة الأولى، وفقاً لتقديرات مجموعة ماك كاي، مئات السنين على الأقل. تعادل الطاقة اللازمة للحصول على هذا التسخين (المصروفة لتغذية مصانع إنتاج غازات الفلوروكربون، والتجهيزات الأخرى) كمية الطاقة الشمسية التي يصدُّها المرِّيخ خلال عشرات السنين. وهذا يسمح لنا بتقدير تكلفة هذه العملية التي قد تتجاوز مئات مليارات من الدولارات.

إذاً سيظلُّ الكوكب، في آخر هذه المرحلة، صحراءَ جافة تؤوي جراثيم وعدة نباتات بدائيّة، لكن ليس فيها حيوانات، ولا نباتات متطوّرة. وفي الحقيقة، يتطلّب هذا التمثُّل وجودَ آثار للأكسجين في الغلاف الجوِّي. أما البشر فيمكنهم التنزُّه فيه، مُرتدين ألبسة دافئة لكن مع كمامة الأكسجين.

ستكون المرحلة اللاحقة أطولَ وأصعب من الأولى. إذ يجب تنشيط طبقة الكوكب المائية (جريان الماء بين أرض الكوكب، وسطحه، وهوائه) وتغذية الغلاف الجوي بالأكسجين. ولمَّا كانت الآليات الطبيعية (كالتمثيل الضوئي على النباتات البدائيّة) بطيئة جداً، استأنف روبيرت زوبرن وكريس ماك كاي مؤخَّراً فكرة قديمة عن تأهيل المرِّيخ، باللجوء إلى "القوة الأوليّة". إذ يمتد لوح ضخم، يبلغ نصفُ قطرِه مئات الكيلومترات في مدار حول مرِّيخي لالتقاط عدة تيراواط من الطاقة الشمسية. تتركَّز هذه الطاقة بواسطة لاقِط على القلنسوتين القطبيَّتين حيث يقدَّر محتواها من الثلج المائي بأكثر من 5 تريليونات طَنّ. سَيتبخَّر الماء في الغلاف الجوِّي مُساهماً كذلك في الاحتباس الحراري، وارتفاع درجة الحرارة. ستُطلِق التربة الجليدية كميات أكبر تتحوَّل تدريجياً إلى سائل على عُمق عشرات الأمتار. سيُسبِّب تكاثُف المياه هذا في جو المرِّيخ البارد من جديد هطولَ أمطارٍ على الكوكب الأحمر بعد فترة جفاف طويل تُعَدُّ بمليارات السنوات.

على مرِّ الزمن، ستمتلئ قيعان الشِّعاب، والأنهار الجافة، وفجوات أرض المرِّيخ الأخرى، تدريجياً، بالماء السائل؛ إذ تظهر على الكوكب سيولٌ، وأنهار، وبحيرات، وبحار، ومحيطات. ثم يجري الماء في أعماق وادي مارينيرس الذي

يصبح أكبر نهر في المرِّيخ. إذاً ستغمر المياهُ جزءاً كبيراً من نصف الكرة الشمالي للكوكب (الذي يقع اليوم على مسافة 2 إلى 3 كيلومترات تحت المستوى المتوسط لأرض المرِّيخ). وقد تبرز في القطب الشمالي المرِّيخي قارَّة تُعادل مساحتها القارَّة المُتجمِّدة، يُحيطها المحيطُ الشمالي الذي يعادِل اتِّساعُه تقريباً اتِّساعَ المحيط الهندي على الأرض. وبالمقابل، قد لا تتواجد محيطات في القطب الجنوبي. لكن قد تتحوَّل بضعة فوَّهات كبيرة كفوَّهات هيلاس وآرجير إلى بحار باتِّساع البحر الأبيض المتوسط وعُمقِه.

مع مرور القرون، سيخسر الكوكب الأحمر لونه البدئي شيئاً فشيئاً، مائلاً إلى الأزرق والأخضر. في الحقيقة، خلال هذا الزمن كلِّه، سَتُستخدم الطاقة الشمسية أيضاً لتسخين أكسيدات الريغوليت المرِّيخي، الذي يُطلق كميّة ضئيلةً من الأكسجين في الجوّ. وقد تنمو نباتات متطوِّرة في المرِّيخ وتتكاثر فيه بسرعة، يدعمُها تنشيطُ الطبقة المائية. وبالتدريج، ستُغني عمليةُ تمثيلها الضوئي الأكثر فعالية من تمثيل النباتات البدائيّة، الغلاف الجوِّي للمرِّيخ بالأكسجين. وبحسب تقديرات مجموعة ماك كي، ستلزم عدّة مئات من القرون لتجعل الغلاف الجوِّي للمرِّيخ قابلاً للتنفُّس. ويمكِن لاستخدام نباتات فعَّالة تحديداً، يتِمُّ إنتاجها بالمُعالجة الوراثيّة، أن يُخفِّض هذه المدّة كثيراً، إلى أقلّ من ألف سنة على وجه الاحتمال.

لا يقتصِر تعقيد العمليّة على طول مُدّتها. إذ لا بُدَّ أن يُضبَط تركيبُ الغلاف الجوِّي بعناية. وينبغي تجنُّب تخصيبٍ مُفرِطٍ بالأُكسجين (جوّ قابل للاشتعال). بالمقابل، إذا كان فِعل التمثيل الضوئي للنباتات يُقلِّل الغاز الكربوني إلى مستويات منخفِضة جداً، فلا بُدَّ من استبداله بغازات احتباس حراري أُخرى، وذلك لتفادي تبريد جديد للكوكب؛ إذ لا بُدَّ أن تشتغل مصانع غازات الفلوروكربون باستمرار. ومن جانب آخر، يجب أن تُضَخَّ في الغلاف الجوِّي كميّة كبيرة من الغاز المُحايد، كالآزوت. ذلك أنَّ عدم كفاية مخزون المرِّيخ من الآزوت، تجعل من المحتمل الاستعانة بمنابع مُتبخِّرة من الحُبيبات المُكربَنة.

خلق عوالِم جديدة

هكذا يبدو ممكناً جعلُ المرِّيخ مأهولاً، على الرغم من صعوبة الأمر القصوى حالياً. فتكثيف غلافه الجوِّي وتسخينه يُشكِّلانِ ظاهرياً الملامح الأكثر "سهولةً" للمشكلة، إلَّا أنَّ أكسجة الغلاف الجوِّي المائي وتنشيطه يُمثِّلانِ تحدِّيَين كبيرين. وإذا ما توصَّل المُتخصِّصون في هندسة الكواكب إلى إزالة هذين التحدِّيين، فمن المُمكِن أن تُؤوي مجموعتنا الشمسيّة عالَمَينِ حيَّين خلال عدّة قرون (أو عِدَّة آلفيّات) ...

كوكب الزهرة هو وحدَه الذي أثار اهتمام "مُبدِعي العوالِم". وسرعان ما غدا واضحاً، مع ذلك، أنَّ المهمَّة ستكون، فوق كلِّ قياس، أكثر صعوبةً من وضع المرِّيخ. فَلِكوكب الزهرة، على غرار الكوكب الأحمر، غلافٌ جوِّي من غاز الكربون، لكنَّ التشابُه يقف هنا. لأنَّ الغلاف الجوِّي للزهرة أكثف بكثير من غلافنا، وضغطه يفوق ضغط الغلاف الجوِّي الأرضي بحوالي مئة مرَّة. حيث تولِّد كميّة غاز الكربون الكبيرة تأثيراً هائلاً لِلاحتباس الحراري، تحتفظ على سطح الكوكب بدرجة حرارة تزيد عن 450 درجة مئوية (750 كلفن). وخلافاً لوضع المرِّيخ، قِوام تأهيل الزهرة هو تخفيف هذا الجوّ الخانق، ممّا يؤدي إلى ترطيب الكوكب.

اقترح "كارل ساغان" في مقالته الأصيلة المنشورة سنة 1961، استخدام جراثيم لالتقاط كربون الغاز الكربوني، واستبداله بالأكسجين (الغاز الذي يُمكِن استنشاقه من دون احتباس حراري). وفي هذه الحال، سَيُغطَّى سطح الزهرة بطبقة من الغرافيت سماكتها عِدَّة مئات من الأمتار، تحت غلافٍ من الأكسجين النقيّ. لن يجعل هذا التغيير الكوكب أقلَّ قسوةً من ذي قبل، لأنَّ الغلاف الجوِّي سيكون بكثافة سابقِه، وسيسحق ضغطُه كلَّ كائنٍ حيّ (باستثناء الجراثيم). ومن جانبٍ آخر، سيكون سريع الالتهاب؛ لأنَّ طبقة الغرافيت ستحترق بسرعة مكوِّنةً غاز الكربون من جديد.

اقترح بعضُهم "نَسْفَ" الغلاف الجوِّي للزهرة بإرسال نيازك تتحطَّم على سطح الكوكب. وتُبيِّن الحسابات أنَّ اصطدام نيزك ضخم (قطره 700 كيلومتر على الأقلّ) يُمكِن أن يُفجِّر في الفضاء ما يقرُب واحد على ألف من كتلة الغلاف الجوِّي للزهرة. وبغية نسف مُعظم الغلاف الجوِّي، تلزم عِدَّة آلاف من النيازك بهذا الحجم؛ وليس ثمَّة منها في المجموعة الشمسيّة إلا عدد قليل. أمَّا عالِمُ الفيزياء "فريمان دايسون"، من جامعة برنستون، فاقترح سنة 1989 استخدامَ لوحٍ عاكِس حجمه كبير جدّاً، يوضع بشكل دائم بين الزهرة والشمس، لكي يغمر الكوكب بالظلام والبرد. وسيكون موقع اللوح في نقطة لاغرانج L1 من مجموعة الشمس - الزهرة، ويجب أن يكون قطرُه أكبر بحوالي عشر مرَّات من قطر الكوكب، لكي يكون هذا الأخير في الظِلّ تماماً. وإذ تُحرَم الزهرة من الطاقة الشمسيّة، ستبرد بسرعة. وسيتكثَّف الغاز الكربوني مُشكِّلاً محيطاً سائلاً على سطح الكوكب. وعلى الرغم من ذلك، ستكون بقية العملية أصعب كثيراً: إذ يجب تزويد الزهرة بغلاف جوِّي مائي ("باستيراد" الماء من أحد أقمار الكواكب العملاقة، المُتجمِّدة) وتحرير الأكسجين بنسبة ضعيفة من غاز الكربون (بفعل التركيب الضوئي للجراثيم)، وخصوصاً منع أغلب الغاز السائل من أن يتبخَّر من جديد في الغلاف الجوِّي (بتحويله، عبر تفاعُلات كيميائية، إلى موادّ صُلبة تندمج في تربة الكوكب). لا جدوى من القول إنه حتى المرحلة الأولى من العملية، وهي بناء لوح عاكِس في الفضاء يبلغ نصفُ قطرِه 50000 كيلومتر، يتعدّى إلى حدٍّ بعيد القدُرات التقنية والمالية لحضارتنا على مدى القرون القادمة.

قدَّر فون براون أنَّ تكلفة هذه البعثة قد تُعادِل تكلفة "عملية عسكرية صغرى"، وهذه تكلفةٌ هائلة بالقياس إلى عملية مدنية. بعد عشر سنوات، اقترح نسخة مصغَّرة عن مشروعه تتضمَّن فقط سفينتين واثني عشر رائداً. إذ يهبط نصف الطواقم على المرِّيخ، ويقضي ثلاثة أشهر لاكتشاف الكوكب. إنَّ تخفيض المدة الإجمالية للبعثة إلى 21 شهراً، واستخدام محرِّك انشطار نووي لدفع السفن، قد يخفِّفانِ تكلفة العملية إلى حدٍّ كبير. غير أن تقرير

لجنة خاصة في مجلس الشيوخ الأميركي وضع، عام 1969، نهاية لهذه المشاريع الطموحة. كانت ملحمة مشروع أبولو تبلغ نهايتها، وكان الأوان قد حان لتخفيض الميزانيات الفضائية. وعليه، فإنَّ برنامج اكتشاف المريخ بوساطة مسابر أوتوماتية، هوَ وحدَه الذي كان مايزال التفكير فيه ممكناً، على غرار برنامج فيكنغ. سوف يطرح *تأهيل الزهرة* تحدِّياً كبيراً أمام *مُهندسِي الألفية الثالثة*. وبالمقابل، ليس هناك اليوم أيّة إمكانية (حتى على الورق) بأن يُجعَل أيُّ كوكبٍ من المجموعة الشمسيّة، مأهولاً. فعُطارد (*الكوكب الأقرب إلى الشمس*)، وبلوتو (*الأكثر بُعداً عن الشمس*)، هما أصغر من أن يحتفِظا بِغلاف جوِّي. أمَّا *الكواكب العملاقة* (المشتري، وزُحل، وأورانوس، ونبتون)، فهي مُكوَّنة من عناصر خفيفة، من *الهيدروجين والهليوم، اللذين لاينفعان الحياة، بل يضُرّانِها*.

تيتان، أكبر أقمار عُطارد، هو وحدَه، من بين الأجرام، الذي لفتَ انتباه المُتخصِّصين في "تأهيل" الكواكب. فمع نصف قطره البالغ 2600 كيلومتر، يُمكِن أن يُعَدَّ كوكباً صغيراً، وسَطاً بين عُطارد والمرِّيخ. في 12 تشرين الثاني/ نوفمبر من عام 1980، مسَّ سابر الفضاء فوياجر *voyager* الأميركي سطح النجم على مسافة 6500 كيلومتر (نصف قطر أرضي!). وقد كشفت المُعطيات التي أرسلها إلى الأرض، عالَماً هامَاً أهميّة قصوى. فتيتان وحدَه في المجموعة الشمسية (بعد الأرض) يمتلك غلافاً جوياً غنياً بالآزوت. والضغط على سطحه يزيد حوالي 50% على الضغط على سطح الأرض، إلا أنَّ درجة الحرارة لا تُجاوِز فيه 95 كلفن (ـ 180 درجة مئوية). لا يتسرَّب ومْضُ شمسٍ شاحبة (مئة مرَّة أقلّ كثافة من مستوى الأرض) إلا بصعوبة، عبر ضباب الغلاف الجوِّي الكثيف، حيث يُضِيءُ منظراً كئيباً: أراضٍ مصلبة مكوَّنة من الجليد، والصخر، والنشادر الصلب البارز من مُحيط لزِج من الميتان السائل. والواقع أنَّ الميتان، في الظروف الفيزيائية لتيتان، يُمكن أن يوجَد على شكل صُلب، وسائل، وغازيّ؛ ويُحتمَل أن يوجد فيه "حلقة ميتان" مُعادِلة لحلقة الماء على الأرض، مع أمطار من الميتان تهطل من الغلاف الجوِّي الكثيف للنجم. سوف يُحسِّن مسبارُ

"كاسيني"، الذي انطلق سنة 1997، ومن المفروض أن يصِل إلى تيتان عام 2004، معرفتنا كثيراً بأضخم قمر عُطارِديّ.

لقد درس "كارل ساغان" و"جيمس بولاك"، في مقالة حديثة، إمكانية تغيير مُناخ تيتان. إذ إنَّ وضْعه مختلف عن وضع الزهرة أو المرِّيخ، لأنَّ فيه جوّاً ضغطُه طبيعي تقريباً، متكوِّن في أغلبه من الآزوت (على غِرار كوكبنا). ومع ذلك، توجد فيه، بسبب حرارته الضعيفة، الموادّ المولِّدة للاحتباس الحراري، على شكل صلب؛ ولا بُدَّ من زيادة كبيرة في درجة الحرارة لكي تتمكّن هذه الموادّ من الوجود بوفرةٍ على شكل غاز. لذا اقترح ساغان وبولاك استخدام الانحلال الحراري النوويّ للدوتوريوم، العنصر المتوفِّر بكثرة على سطح تيتان، لتوليد تسخين أوَّلي مُهِمّ. وما إن تتبخَّر الغازات المسبِّبة للاحتباس الحراري في الجوّ، حتى تتولّى خلق ظروف حرارة أكثر اعتدالاً. لن يكون تسخين تيتان، وفق تقديرات ساغان وبولاك، أصعبَ من تسخين المرِّيخ. ومع هذا، حتى لو ارتفعت الحرارة فوق درجة الصفر، فمن المُحتمل ألا تكون كثافة ضوء الشمس الضعيفة كافيةً للتمثيل الضوئي للنباتات. وهكذا تبدو أكسجة جوّ تيتان صعبة للغاية، ممَّا سيجعل أيّةَ فكرةٍ للتدخُّل في تعديل مُناخه مُجازفةً خطيرة.

إن إمكانية أن جعل كواكب المجموعة الشمسيّة الأخرى مأهولةً لا تُدغدِغ أحلامَ قُرَّاء الخيال العلمي وحسب، بل أحلامَ عددٍ كبيرٍ من رجال العِلم. ليس السبب بالتأكيد هو إمكانية حلِّ المشكلة السُّكانية لكوكبنا العجوز: حتى لو أنَّ مساحة المرِّيخ تُساوي مساحة الأراضي اليابسة في كوكبنا، فمن المُستحيل أن ننقل إليها نسبة كبيرة من البشر؛ ولكي ننقل إليها، في قرن، مجموعةً من مئة مليون نسمة (وهذه نسبة لا قيمة لها بالقياس إلى عدد سُكّان الأرض الحالي)، فلا بُدَّ من ثلاثة آلاف رحلةِ انطلاقٍ في اليوم... ولئن فتنَ تأهيلُ المرِّيخ العقولَ بقدْرٍ كبير، فذلك لأنَّه يفتح منظورَ حَدٍّ جديد يُمكِن لِغزوه أن يُساعِد حضارتنا على تحرير إبداعها الكامن، وعلى إيجاد فعاليّة جديدة. وبعضهم يُقارن الوضع بفتح أميركا قبل عِدّة قرون من

الآن. لقد كان لغزو الأوروبيّين لأميركا آثار خيِّرة على القارّة العجوز (مع أنَّه قاد للأسف! إلى تفاقُم عبودية السُّكان الأصليين وقتلِهم الجماعي). وقد سمح العمل في مكانٍ جديد، بعيداً عن المؤسَّسات القائمة، بإرساء قواعد تنظيمٍ أكثر ديمقراطية للمجتمع، ممَّا أسهم (مع عواملَ أُخرى) في زعزعة الطبقات الأرستقراطية الأوروبية القديمة. بالإضافة إلى أنَّ غزو هذه الفضاءات الواسعة حرَّض ضروباً عديدة من التجديد التقني، وتطبيق التقنيات الجديدة على نطاقٍ واسع. قد يُقدِّم المرِّيخ، بطريقة مُماثلة، الفضاءات البِكْر، والتحدِّيات التقنية التي ستقود الإنسان إلى رؤية جديدة لِعلاقته مع الطبيعة ومع بني جِنسه...

مهما كانت هذه المنظوراتُ هامَّةً، فلا ينبغي أن تحجب إشكالاً آخر، ذا طبيعةٍ أخلاقيّة هذه المرَّة. ففي كتابه الرائع نقطة زرقاءُ شاحبة، المنشور سنة 1995 (بعد سنةٍ من وفاته)، يعرض ساغان بوضوح هذه الإشكالية التي تشغل أصلاً بعض الأوساط العلمية. حتى لو بدا تأهيلُ المرِّيخ أو أيّ كوكبٍ آخر ممكناً من الناحية التقنيّة، فهل يجب تأهيله مع ذلك؟ أليس من الأفضل دراسة العالَم وفهمه قبل تغييره؟ وبِحُكم عمُرِ مؤسَّساتنا السياسية والاقتصاديّة، القصير نسبياً، هل من المعقول أن نشرع في برنامج طويل الأمد، ونُخاطر بأن نرى أنفسنا مُجبَرين على إيقافه تاركين الكوكب مُشوَّهاً إلى الأبد؟ أليس علينا بالأحرى أن نحتفظ بمجموعتنا الشمسيّة على حالتها الراهنة من أجل الأجيال القادمة، التي يُمكِن أن تُفكِّر في طرائق استخدامٍ أكثر حكمةً بكثير؟ أوَيكون من الحكمةِ، إذا نظرنا بشكلٍ خاصّ، إلى فداحة الأضرار التي أنزلناها ببيئتنا الأرضيّة، أن نُفكِر بالتدخُّل في عالَمٍ آخر؟

يستحيل أن نُجيب اليوم على هذه الأسئلة، البعيدة جدّاً عن اهتماماتنا الراهنة. ومع ذلك، سوف تُطرَح عاجلاً أم آجلاً على الأجيال القادِمة. يُقدِّم لنا كاتب الخيال العلمي الأميركي "كيم س. روبنسون" في كتابه المرِّيخ الأحمر، توضيحاً رائعاً لهذا الجدل المُستقبلي. يكوِّن الكتاب الجزء الأوَّل من ثُلاثيّة ضخمة (مؤلَّفة أيضاً من

المرِّيخ الأخضر، والمرِّيخ الأزرق) تحكي المراحل المُختلفة لاستيطان بشر القرن الثاني والعشرين للمرِّيخ وتأهيله. وإذ استوحت ثلاثيّةُ روبنسون من أعمال مجموعة "ماك كي" (المعروضة في القسم السابق)، فقد نجحت أيّما نجاح على الصعيد التقني، لكنَّها تتناول أيضاً مشكلاتٍ اجتماعية واقتصاديّة على حضارتنا أن تُواجهها في غضون القرنين القادمَين. إشكالية تأهيل المرِّيخ معروضة بصورة رائعة في المرِّيخ الأحمر من خلال شخصيَّتَيْ "آنّ كليبورن"، عالِمة الجيولوجيا، و"ساكس راسِل" عالِم الفيزياء. حيث تُشكِّل مُواجهتُهما أثناء مناقشة مستقبل المرِّيخ مقطوعةً مُختارات حقيقية. ولِكونهما مُتعارِضَين بشراسة حول فكرة أيِّ تغيير في المرِّيخ، تتَّهِم عالمة الجيولوجيا أنصارَ المشروع بعدم الشعور بالمسؤولية، وبأنَّهم يُريدون أن يأخذوا دور الله من دون أيّ احترامٍ للطبيعة، وبالتدمير المُتعمَّد لجمال منظرٍ عمرُه عِدّة مليارات من السنين يُمكِن أن يعلِّمنا أشياء كثيرة عن ماضي مجموعتنا الشمسيّة. لكن جواب الفيزيائي صاعقٌ أيضاً:

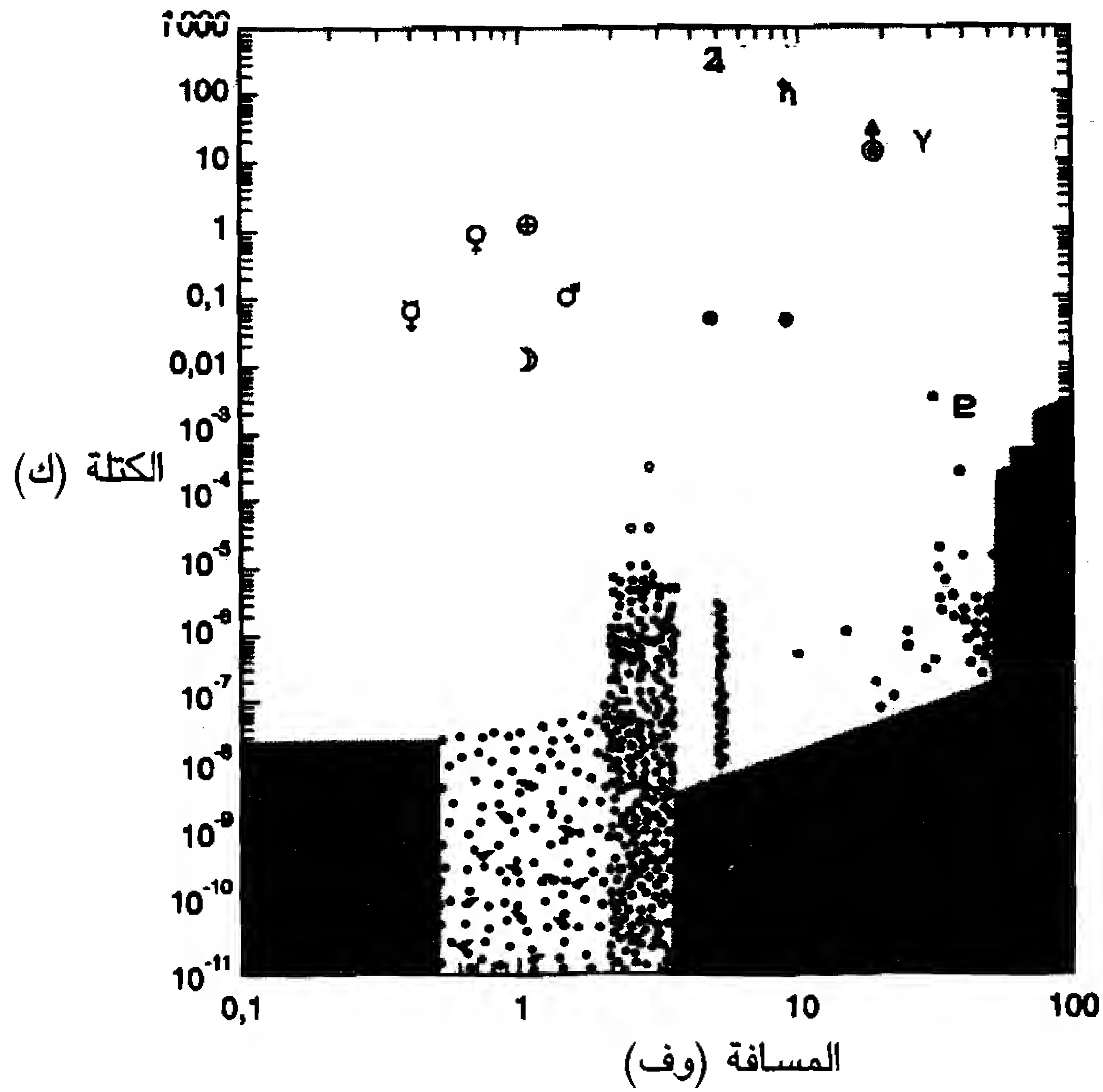
"جمال المرِّيخ لا يوجد إلّا في ذهننا؛ فهو، من دون البشر، ليس إلا مجموعة عاديـة من الذرَّات، نادراً ما تختلف عن أية قطعة ماديّة في الكون ... معنى الكون وجمالُه يوجدان في وعيِ حياةٍ ذكيَّة ... ونحن نُمثِّل هذا الوعي، وواجبنا هو أن ننشرَه، ونمضي للعيش في كُلِّ مكانٍ ممكِن ... إنَّه أمرٌ خطير أن يُترَك الوعيُ على سطحِ كوكبٍ واحد؛ حيث يُمكن أن يُحتاج (بكارثةٍ طبيعية)... نستطيع أن نُغيِّر المرِّيخ، مثلما نبني كاتدرائية، وصرحاً للإنسانية وللكون... نحن قادرون على أن نفعل هذا، وسوف نفعلُه..."

أهو تفاؤلٌ ساذج، أم وهمٌ خطيرٌ، أو رؤية تنبؤيّة؟ ربَّما سوف نحصُل على الجواب في غضون عِدَّة قرون...

على تخوم المجموعة الشمسية

من الواضح أنَّ الفضاء حول الأرض، والقمر، والنجوم السيّارة القريبة، والمرِّيخ

وأقماره، ستكون الأهداف الأساسية لبرامج الفضاء في القرن القادم. يُملي اختيار هذه الأهداف، في وقتٍ واحد، إمكانيةُ الوصول إليها، والتداعيات الاقتصادية المُحتمَلة : مواد أوَّليّة (الماء والعناصر المُتبخِّرة من الحُبيبات المُكربَنة، ومعادن النجوم الحديدية)، ومنتوجات التقنية العالية (المصنوعة في ظروف الفراغ وانعدام الوزن)، والطاقة (الشمسية أو الحرارية النوويّة، الناتجة عن اندماج الهليوم-3 القمري). طبعاً،



الشكل 1-7. كُتل (مُعبَّر عنا بالكتلة الأرضية؛ 10^{21} x 5 1M طَنّ) من أجرام مُختلفة من النظام الشمسي بحسب بُعدها عن الشمس (مُعبَّر عنها بوحدات فلكيّة UA؛ UA! = 150 مليون كم). مواضع الكواكب التسعة مُحدّدة، بدءاً من أقمارها الأضخم (القمر، وغانيميد، وتيتان، وترينون، وشارون)، والنيزك الأضخم في المنطقة الأساسية (سيريس) وبعض مُمثّلي مُختلف عائلات الأجسام الصغيرة في المجموعة الشمسية : "المُتقاطعة مع الأرض" (NEO)، ونيازك المنطقة الأساسية، والطروادية، والمُذنَّبات ومخزونها في حزام كيوبر (مُقتبَس من ت. روتيغ، و ج. هاهِن، "استكمال جردة المجموعة الشمسية"، 1996).

سوف يرتهِنُ وضع هذه البرامج موضع التطبيق بِمخاطر الوضع الاجتماعي - الاقتصادي على سطح كوكبنا. أمّا فتح الحدود المرّيخية لاستيطانٍ كثيف، بعد تأهيل الكوكب الأحمر، فسيؤجِّل عدّة قرون. ينطبق هذا أيضاً على استغلال النجوم التي لا تُحصى في المنطقة الأساسية للنجوم السيارة، الواقعة بين مدارَيْ المرّيخ والمُشتري.

وبالمُقابل، أجرام المجموعة الشمسية الأُخرى لا تهمُّ اليوم إلّا البحث الأساسي. وسوف يقود اكتشافها خلال العقود القادمة عن طريق بعثات آليّة إلى معرفة أفضل بمجموعتنا الشمسية، بنشوئها، وتطُّورها.

فيما عدا المرّيخ، تبدو فائدة كواكب المجموعة الشمسية "العملية" ضعيفةً الآن. فارتفاع درجات الحرارة والضغط في الغلاف الجوّي لكوكب الزهرة لايسمح للإنسان بالاستمرار على سطح "نجمة الراعي". تأهيلُ الزهرة وحدَه يجعلها هامَة في نظر الإنسان، حيث تُقدِّم له مساحةً تُعادل مساحة جُملة أراضي، ومحيطات كوكبنا. ومع ذلك، لا يبدو أيّ مشروع من هذا النوع قابلاً للتحقيق حالياً. وإذا لم تحدُث مُعجزة تقنيّة، أو يتِمُّ لإيجاد حلٍّ مُبتكَر، فسوف يبقى الكوكب التوأم للأرض (بكُتلته) عصيّاً على الإنسان.

عُطارد، الكوكب الأقرب إلى الشمس أقلّ قسوةً من الزهرة. فهو، لِكونه أقل حجماً بقليل من القمر، يُشبهه كثيراً في غياب الغلاف الجوّي، وفي شكل سطحه (المزروع بالفوّهات ذات الأصل النيزكي) وبتبايُن درجات الحرارة، وهو الأكثر تطرُّفاً في المجموعة الشمسية. وكثافة ضوء الشمس على مستوى عُطارد تبلغ وسطياً ستّة أضعاف كثافته في مستوى المدار الأرضي. حين تصل الشمس إلى السَّمْت، تبلغ درجة الحرارة على أرضه 450 درجة، بينما يتجمَّد نصف الكُرَة المُقابل، الغارق في الظلام، بدرجة 170 تحت الصفر. في هذه الظروف، تكمن الفائدة المُحتَملة الوحيدة في كميّة الطاقة الكبيرة الجاهزة في جِواره (الفصل الثاني).

بعيداً، وراء مدار المرّيخ وحزام الكويكبات، على مسافات تتراوح بين 5 و 30 وحدة فلكيّة، توجد الكواكب العملاقة في المجموعة الشمسية: المشتري، وعُطارد، وأورانوس، ونبتون. هي أكبر بكثير من الأرض، حوالي 15 ضعفاً في حال أورانوس ونبتون، و95 ضعفاً في حال عُطارد، و317 ضعفاً في حال المشتري. وتركيبها الكيميائي مختلف جداً عن تركيب الكواكب الأرضية (التلوريّة). فهي مُكوَّنة، على غِرار الشمس، بشكل أساسي من غازات خفيفة، وهيدروجين، وهليوم. ومن المستحيل رؤية ما يحتجب تحت غلافها الجوّي الكثيف الذي يطّرِد ارتفاعُ ضغطه مع عمقه. في السابع من شهر كانون الأوّل/ ديسمبر، من عام 1995، غاصت عربة أطلَقها السابر الأميركي "غاليليو" في الغلاف الجوّي للمشتري. واستطاعت، خلال ساعة تقريباً، أن تنقل نتائج رصدَها، قبل أن يُعطِّلها ضغطٌ يفوق الضغط الأرضي عشرين مرّة. وعلى مسافة آلاف الكيلومترات من قمّة الغلاف الجوّي للمشتري، يبلغ الضغط قِيَماً أكبر بآلاف المرّات أيضاً.

تمتلك الكواكب العملاقة، بحسب الطُرز الحالية، نواة من صخور وجليد بحجم الأرض. تبدو هذه النواة، في حال المشتري وعُطارد، محوطةً بحجاب من الهيدروجين المعدني، وهذه حال من المادّة التي لا يمكن أن توجد إلا تحت ضغوط أعلى من الضغط الأرضي بعدة ملايين المرّات. نظراً لهذه الظروف، غلافُ هذه الكواكب الخارجي فقط هو الذي يُحتمَل أن يُمثِّل فائدةً عمليّة. فهو غنيٌّ بالهليوم-3، العنصر الذي استطاعت هذه الكواكب أن تحتفظ به بحُكم جاذبيّتها القويّة. رأينا، في أحد الأقسام السابقة، أن انحلال الهليوم-3 القمري قد يكفي لتلبية حاجاتنا إلى الطاقة خلال ألفيّة أو ألفيّتين. وبالمقابل، يمكن أن تُغطّي كميّةُ الهليوم-3 التي يُمكن الوصول إليها في الكواكب العملاقة (حتى العمق الذي يغدو عنده الضغط عشرة أضعاف الضغط الأرضي) حاجاتِ حضارتنا خلال عِدة مليارات من السنين.

سيتِمُّ استخراج الهليوم-3 من الكواكب العملاقة من خلال سوابر آليّة، تُرسَل إلى غلافها الجوّي. وسيزوِّد مُفاعلٌ نووي صغير بالطاقة اللازمة لاستخراج الهليوم، وفصل نظيرَيه، الهليوم-3، والهليوم-4. سَيُبرَّد الهليوم-3 الثمين ويُخزَّن على شكل سائل. أمّا الهلليوم-4، الأكثر وفرةً، فَسَيُسخَّن ليُستخدَم في نفخ المناطيد التي سينشرها المسابر، التي تسمح لهذا الأخير أن يطفو في الغلاف الجوِّي خلال العمليّة. وحين يمتلئ خزَّانُ السابر بالهليوم-3، سيسلك طريق العودة إلى الأرض التي تستغرق عِدّة أعوام. وعلى الرغم من ذلك، ونظراً لضخامة حجم المشتري، يصعُب جدّاً تفادي هيمنة جاذبيَّته الرهيبة. يتَّضح إذاً أنَّ استخراج الهليوم-3 من المشتري لن يكون مُربحاً اقتصادياً؛ فحتى لو دُفِع المسبار بالانصهار الحراري النوويّ، وهذا مصدر طاقة فعّال للغاية، ينبغي أن يحرُق كميّةً ضخمة من حمولته الخاصَّة من الهليوم-3. وبالمقابل، فإن حقل جاذبية الكواكب الأخرى أقلّ كثافة من حقل المشتري، ويبدو الوصول إلى مخزونها من الهليوم-3 أقلّ صعوبةً (بالتحديد مخزونا أورانوس ونبتون).

تُمثِّل النجوم الصغيرة في المجموعة الشمسية، بسبب ضعف حقل جاذبيتها، فائدة عملية أكيدة. ثلاثة من أصل الأقمار المشتروية الستة عشر تمتلك أوسع مخزونات من الماء العذب في المجموعة الشمسيّة. إذ تؤوي تحت قشرتها السميكة من الجليد محيطاتٍ من الماء السائل، عمقها 100 كيلومتر في كويكب أوروبا، وأكثر من 500 كيلومتر في كويكب غانيميدا وكاليستو. وتساوي كمية الماء على كويكب أوروبا محيطات كوكبنا كلّها، بينما تبلغ كميته على كاليستو وغانيميدا على الأقلّ ثلاثين ضعفاً.

من الصعب معرفة ما إذا كان الإنسان سيلجأ إلى مخزونات الماء في الأقمار المشتروية. إذ إنَّ استخراجَ هذه الكميّات من الماء داخل المجموعة الشمسية ونقلَها لا يبدوان اليوم واضحَين. ومن جانبٍ آخر، فإن عشرات آلاف الأجسام التي تشغل المنطقة الأساسية للكويكبات تحتوي مُجتمعةً على كميّات

كبيرة جداً من الماء المُتجمِّد، وعناصر أخرى مُتبخِّرة، ومعادن. ميزة هذه الأجسام هي كتلتها الصغيرة التي تتيح الوصول بسهولة إلى مصادرها ونقلها بين المناطق الداخلية للمجموعة الشمسية. عديدةٌ هي قِصص الخيال العلمي التي تحكي عن نجاح روّاد مناجم الفضاء، المستقبليّين، والمغامرين الباحثين عن الثروة في "الشرق الفضائي البعيد" للألفيّة الثالثة ...

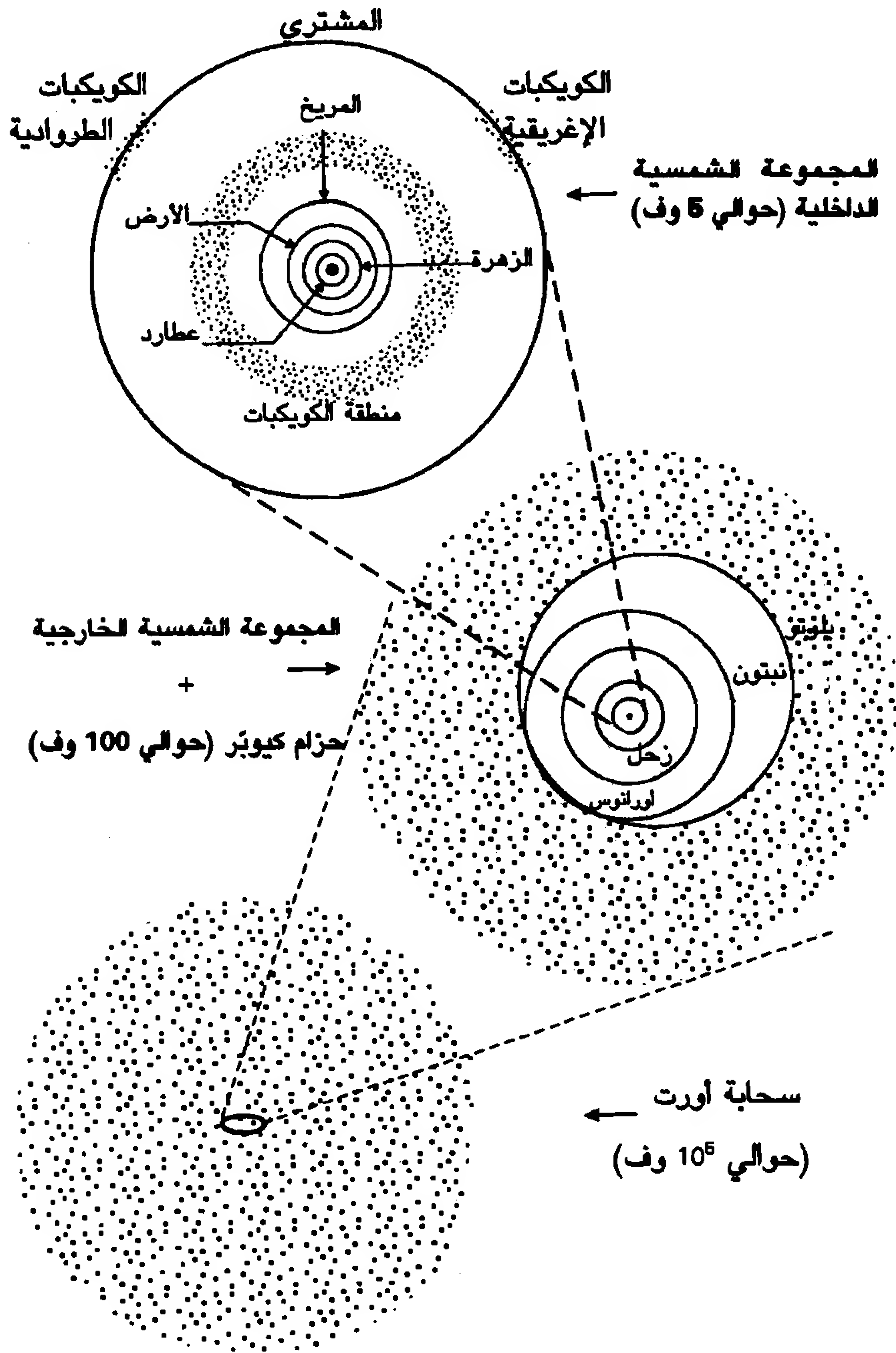
المُرجَّح أنَّ أهميَّة الكويكبات لا تقتصر على استغلال مصادرها المعدنية وحدَه. فقد أوحى بعضُهم بأنَّ في مُستطاع الإنسان أن يستوطنها في مستقبلٍ بعيد. يسكُن المستوطنون إمَّا على سطح النجم، وإمَّا على حوافِّه الداخلية بعد أن يحفروها. في الحال الأولى، ستحميهم من برد الفضاء، ومن الإشعاعات الكونيّة، كُتبانٌ من البلاستيك الشفّاف الذي يحوي جوّاً مُلائماً (تركيب كيميائي، وضغط، وحرارة)، وسيسمح لهم استغلال مصادر الكويكب بأن يخلقوا فيه جوّاً حيوياً مستقلاً استقلالاً تامّاً. ومع هذا، عليهم أن يتكيَّفوا مع ضعف جاذبية عالَمهم، الأقل من جاذبية الأرض بمئات وآلاف المرّات. فأولئك الذين سيزورون كوكبهم الأمّ، سيجدون صعوبةً قصوى في تحمُّل ثقلها الساحق. هذه المشكلة لن تواجه أولئك الذين اختاروا السُّكن على الحوافّ الداخلية للنجم المحفور: على غرار اسطوانات أونيل، سيوفِّر لهم دوران الكويكب الجاذبية الملائمة، من خلال فعل القوّة النابذة (على الأقلّ في المناطق الاستوائية).

بضعة آلاف من أجرامٍ تتعدّى أحجامُها عِدّة كيلومترات تشغل المنطقة الأساسية للكويكبات. وتُساوي مساحتها مُجتمعةً مساحةَ قارّات كوكبنا كافّةً. يعتبر عالِم الكواكب الاميركي "جون لويز"، في كتابه الجديد استغلال مناجم السماء، *أنَّ ثروات هذه المنطقة قد تكفي حاجات بشر أكثر بملايين المرّات من عدد سكّان الأرض حالياً. إذ تحوي الكويكبات الطروادية والإغريقية، الأبعد بقليل، على منابع أكثر غنىً أيضاً*. توجد هذه الأجرام في نقطتي لاغرانج L4 وL5 من مجموعة الشمس ـ *المشتري*. وبعبارةٍ *أُخرى*، هي دوماً على المسافة نفسها من

المشتري، التي تسبق (الطروادية) أو تلحق (الإغريقية) بزاوية 60 درجة في مدارها حول الشمس. كتلة هذه الأجرام أكبر بثلاثة أو أربعة أضعاف من كتلة كويكبات المنطقة الأساسية.

فيما وراء مدار نبتون، على مسافة أكثر من 35 وحدة فلكية من الشمس، تمتدّ منطقة مليئة، بشكل خاص، بالمُذنّبات، وهي نُوى من الجليد والغبار، قطرها عِدّة كيلومترات، تترك من وقتٍ إلى آخر مأواها الجليدي وتخترق المناطق الداخلية للمجموعة الشمسية. يحدث هذا عندما يُشوِّش مدارَها حقلُ جاذبيةِ الكواكب العملاقة (أو حقل نجم آخر يقترب من الشمس). حينئذٍ تقتلع حرارة الشمس من سطحها الغازات والغبار، مؤدِّيَة إلى تكوين الهالات والأذناب التي يبلغ طولُها عدّة ملايين الكيلومترات. حينذاك تغدو الأجرام الأكثر إدهاشاً في السماء الليلية، على غرار مُذنّب هال - بوب الذي استحوذ اهتمام عُشّاق السماء خلال الأشهر الأولى من سنة 1997.

أمّا فكرة أن يستطيل قرص المجموعة الشمسية من خلال حزام من المذنّبات، إلى عِدّة عشرات من الوحدات الفلكيّة، فكان قد أوحى بها، في منتصف القرن العشرين، عالِمُ الفلك الأيرلنديّ "كينيث إيدجوورث" والهولندي "جيرار كيوبر". في ذلك العصر، كان كوكب نبتون الصغير هو الجسم الوحيد المعروف في تلك المنطقة، وقد اكتشفه، سنة 1930، الأميركي "كليد ن. تومبو". في سنة 1978، تمَّ اكتشاف قمره شارون، وهو نجم بنصف حجم القمر. بعد خمسة عشر عاماً، أي عام 1992، تمَّ اكتشاف جُرم قطره 200 كيلومتر، فيما وراء مدار بلوتو. عِدّة أجرام من هذه العائلة الواقعة بعد بلوتو، التي تُسمّى بـ "حزام كيوبّر"، معروفة اليوم. يُقدَّر عدد الأجرام التي تزيد على مئة كيلومتر، في هذه المنطقة، بأكثر من أربعين ألفاً، ألف مرّة أكثر من نظائرها في منطقة الكويكبات الأساسية. والكتلة الإجمالية لمُذنّبات حزام كيوبّر تساوي كتلة المرّيخ، وعددها الكُلّي يُقارب عشرة مليارات.



الشكل 1-8. الأبعاد على التوالي للمجموعة الشمسية الداخلية (داخل منطقة الكويكبات؛ بعض الوحدات الفلكية)، وللمجموعة الشمسية الخارجية (يمتدّ حزام كيوبر إلى عِدّة وحدات فلكية) ولغيمة أُورت (100000 وحدة فلكية تقريباً).

وفي النهاية، في منطقة أبعد جداً من حزام كيوبر، تُحيط بالمجموعة الشمسية سحابة دائرية شاسعة من المذنّبات. تمتدّ "سحابة أُورت" (من اسم عالم الفلك الهولندي الذي أوحى بوجودها سنة 1950) على مسافة تتراوح بين 10000 و 70000 وحدة فلكية عن الشمس. ولا تُمثّل ثروات حزام كيوبّر سوى واحد على ألف من ثروات "سحابة أُورت"، التي تحتوي على قرابة 10 تريليونات مُذنّب (أي عدد أكبر من عدد نجوم مجرّتنا !). على الرغم من هذا الرقم المُرتفع، فإن مُذنَّبات الغيمة بعيدة بعضها عن بعضها الآخر بُعدَ الأرض عن الشمس. أمّا كتلة الغيمة الإجمالية فهي تُعادِل كُتلتَيْ الكوكبين العملاقين أورانوس ونبتون.

حزام كيوبر، وخصوصاً، سحابة أُورت، يحتويان على أكثر المخزونات ضخامةً من العناصر المُتبخِّرة في المجموعة الشمسية. هذه المناطق البعيدة التي يستحيل الوصول إليها حالياً، سوف تُشكِّل على الأرجح الحدَّ الجديد للألفية الرابعة. هل ستصير مأهولةً ذات يوم ؟ مَن يتمنّى أن يُقيم في منطقة غارقة في الليل الأبديّ، نائية جداً عن نورِ نجمِ الحياة، وحرارته (الشمس) ؟ لأنَّ الشمس، المرئية من سحابة أُورت، ليست أكثر بريقاً من نجوم سمائنا الليلية؛ فبُعد الحافَّة الخارجية للسحابة يُساوي تقريباً رُبعَ المسافة التي تفصلنا عن النجم الأكثر قُرباً. ومع ذلك، أوحى بعضُهم بأنَّ استيطان "سحابة أُورت" قد تُشكل مرحلةً "طبيعية" من مغامرتنا الكونية، وذلك قبل المضيّ إلى الهدف اللاحق : الأسفار بين النجوم.

2. طريقُ النجوم

الذين يبنون تحت النجوم، يبنون في مكان شديد الانخفاض
إدوارد يونغ، *أفكار ليليّة*

الأرض، تكفيني
لا أريد النجوم الأكثر قُرباً
أعرف أنّها ممتازةٌ في مكانها أعرف
أنّها تكفي قاطنِيها

والت ويتمان، *أوراق العشب*
"الحلُم بالطريق المفتوحة"

يُشكِّل المشهد الرائع لِصاروخٍ يُقلِع من منصَّة إطلاقه، ويرتفع بجلال في السماء، واحدةً من الصُّوَر الأكثر تميُّزاً في عصرنا. لقد فتحت هذه الصواريخ أبواب الفضاء أمام البشرية. وأتاحت للإنسان أن يخطو خطواته الأُولى في الفضاء حول الأرضي، ثُمَّ في الفضاء بين الكواكب. ومع ذلك، تظلُّ النجوم دوماً بعيدةً عن مُتَناوَلنا؛ فما يزال الوصول إليها غير ممكِن مثلما كان في بداية عصر الفضاء.

هل نتوصَّل يوماً إلى عبور المحيط بين النجوم ؟ وبأيّة وسيلةٍ ؟ وكم يلزم من العقود، والقرون، والألْفيَّات، ليس إلّا لِبلوغ النجوم الأكثر قُرباً ؟ لا جوابَ اليوم على هذه الأسئلة؛ والحقُّ أنَّها ليست موضوعاً لدراساتٍ جادّة، مادامت المصاعب التقنية تبدو غير متجاوَزة. الأسفار بين النجوم تجعل بعض المُراهقين دوماً يحلُمون (وكذلك مؤلِّفو الخيال العِلمي)، لكنَّ العِلم المُعاصر يُفضِّل تأجيلها إلى مُستقبل غير مُحدَّد.

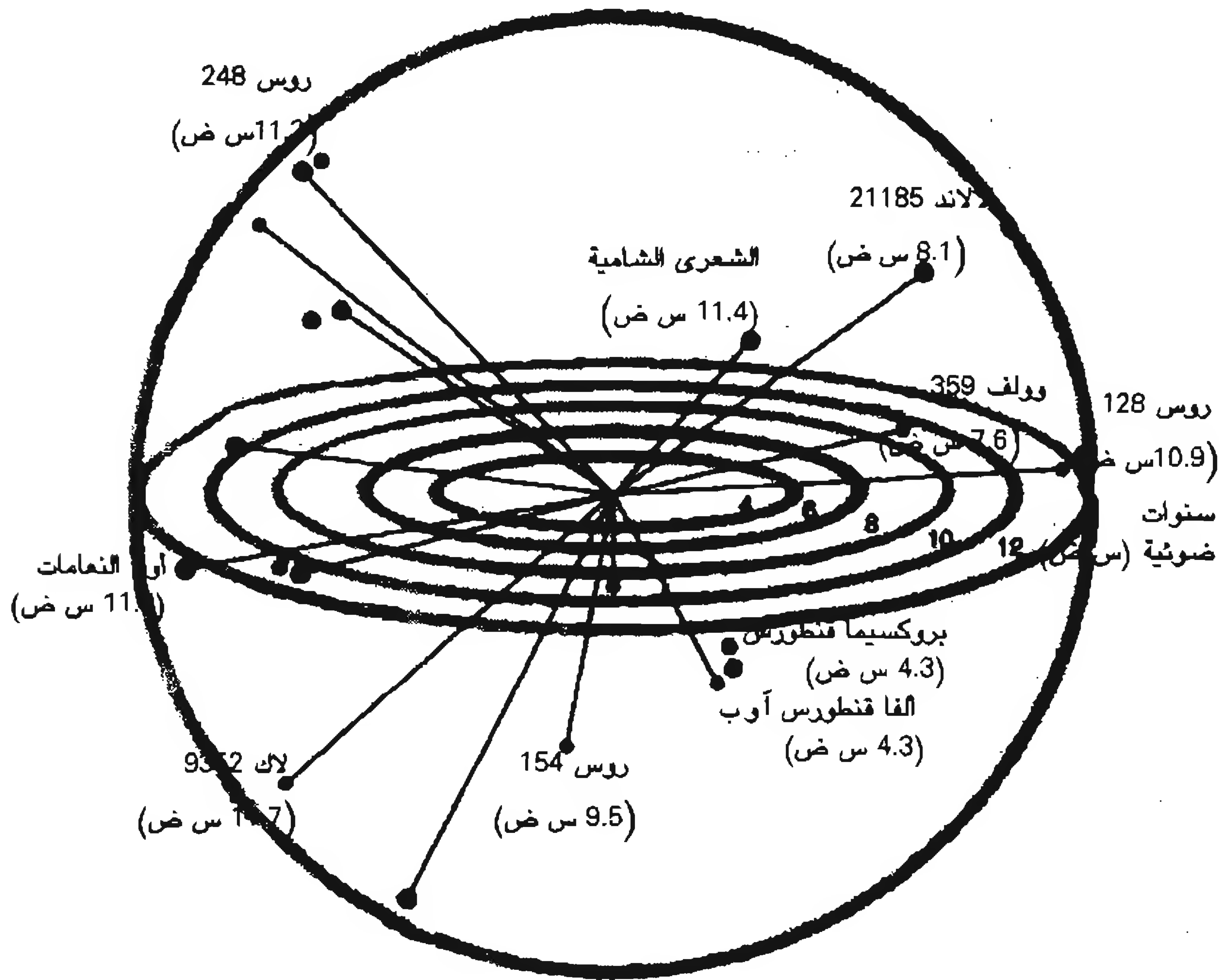
كان الأمر خِلاف ذلك في الخمسينيات والستينيات. فخلال حوالي اثنتي

عشرة سنة استطاع الإنسان التحكُّم بالطاقة النوويّة، وصناعة الصواريخ، والحواسيب. وسمح انفجار التقنيات هذا بتغذية الآمال الكُبرى المُتَّصلة بالأسفار بين الكواكب. وانكبَّ المهندسون والفيزيائيُّون على المشكلة بحماسة، يكتشفون سبُلاً أصلية لبناء جسر إلى النجوم. وعلى الرغم من براعتهم الرائعة، لم تأتِ هذه الجهود كلّها إلا ببيانِ صعوبة المهمّة. ومن الواضح اليوم أنَّ طريق النجوم ستكون، اللهُمَّ إلا إذا حدثت مُعجزة تقنيّة، طويلةً، وطويلةً جدّاً؛ والمُحتَمل كثيراً أننا لن نسلكها قبل عدّة قرون.

المُحيط بين النجمي

نعرف جميعاً أنَّ الكون واسع. ومع هذا، يظلّ من الصعب إدراكُ هوْل المسافات التي تفصِلنا عن النجوم. يقطع الضوءُ مسافة 400000 كيلومتر التي تفصِل الأرض عن القمر بأكثر قليلاً من الثانية. فنبتون، النجم ما قبل الأخير في المجموعة الشمسية، يدور في مدار أبعد عن الأرض عشرة آلاف مرّة من القمر، أي على مسافة 4.4 مليار كيلومتر، يقطعها الضوء خلال 4 ساعات تقريباً. والنجم الأكثر قُرباً، بروكسيما سنتوري، أبعد عشرة آلاف مرّة من نبتون: يستغرق الضوء 4.3 سنة لقطع مسافة الأربعين مليار كيلومتر التي تفصلنا عن جارنا النجم. وعلى مسافة 30000 سنة ضوئية من الأرض، تقريباً أبعد من بروكسيما سنتوري عشرة آلاف مرّة، يوجد مركز هذا التجمُّع الشاسع لِعدَّة مليارات من النجوم التي تُكوِّن مجرَّتنا. تُقاس مسافات المجرَّات القريبة بملايين السنوات الضوئيّة، ومسافات المجرَّات البعيدة بمليارات السنين الضوئية.

نحن نعلم، منذ عام 1905، السنة التي صاغ فيها "ألبير آينشتاين" نظريّته عن الجانبيّة، أنَّ سرعة الضوء في الفراغ تشكِّل حدّاً مُطلَقاً: لا يُمكِن لأيِّ شيء أن ينطلق بسرعة تزيد على 300000 كيلومتر في الثانية (وعلى الأدقّ: 792 299 كم/ثا). أثار حدُّ السرعة هذا، المرموز له بـ c، أخطر المُشكلات أمام



الشكل 2-1. مواقع النجوم الأقرب إلى الشمس ومسافاتها (بالسنوات الضوئية)

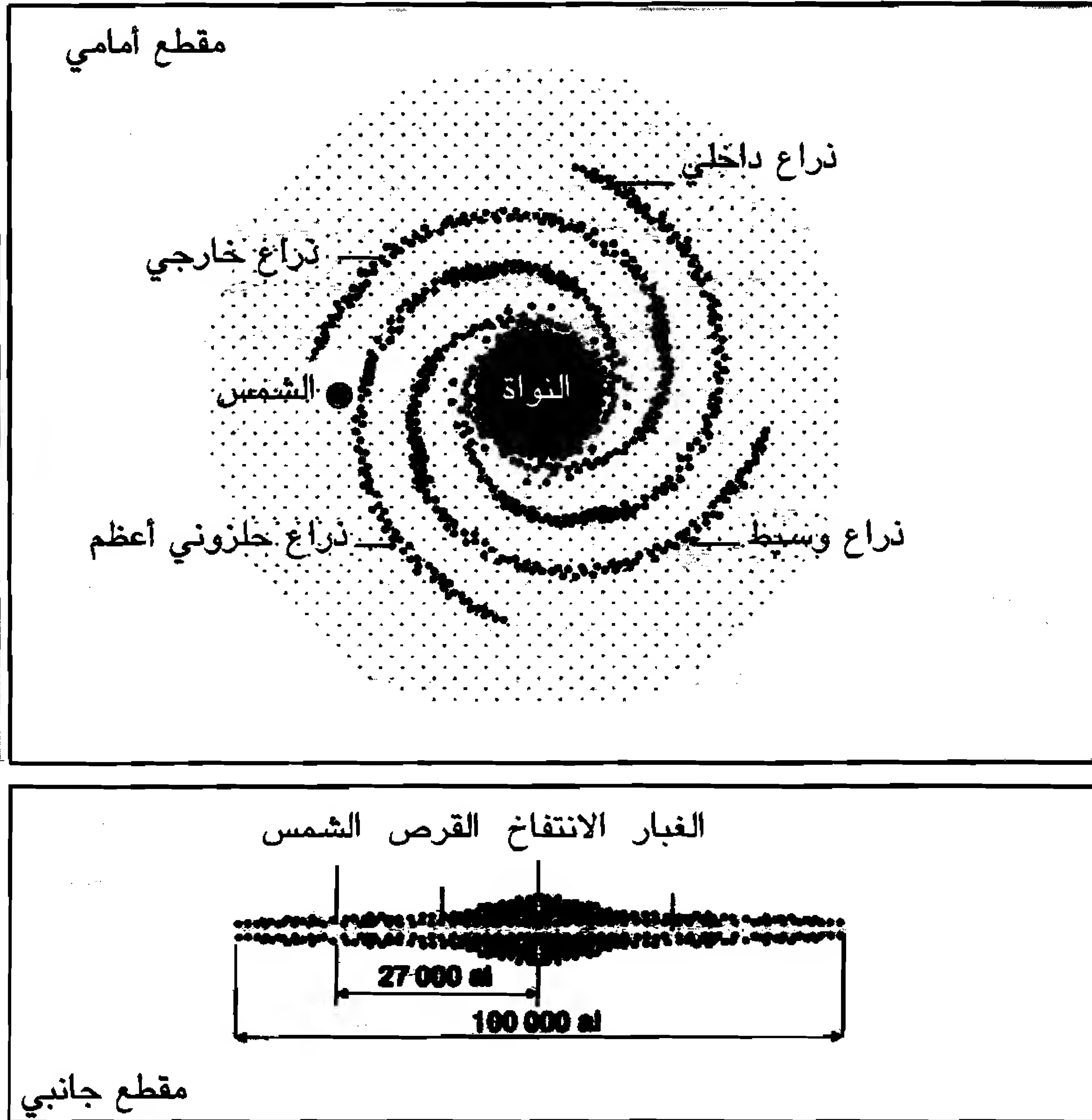
كتَّاب الخيال العلمي الذين عانوا كثيراً من جعل قصصهم عن الإمبراطوريات المجرَّاتية تتمتَّع بالمصداقيّة. سوف نعود إلى هذه النقطة فيما يلحق من هذا الفصل، لكنَّ من الواضح أنَّ طموحاتنا في الأسفار بين النجوم ينبغي أن تقتصر على "ضاحيتنا" الكونيّة القريبة، على الأقلّ في مرحلةٍ أُولى.

لحُسن الحظ، جِوارنا ليس مسرحاً فارغاً. إذ نَعُدّ، في شُعاع 12 سنة ضوئية حول الشمس، 26 نجماً. ثلاثة منها فقط أضخم وأكثر إضاءة من الشمس، بينما أغلب النجوم الأُخرى حمراء صغيرة. نجمنا الأقرب، بروكسيما سنتوري، الأصغر عشر مرَّات من الشمس، وعشرة آلاف مرَّة أقلّ إضاءةً، جزءٌ من نظامٍ ثُلاثي: يدور على مسافة كبيرة إلى حدٍّ مّا حول ألفا سنتوري

(قنطورس) (α Centauri) آ و ب، وهما نجمان يُشبهان الشمس ويُشكِّلان زوجاً "مُتقارباً" نوعاً ما، على بُعد 4.4 سنة ضوئية من الأرض. أبعد قليلاً، على مسافة 5.9 و 7.6 سنوات ضوئية، نجِد على التوالي النجوم برنار، ووُلف 359، ولالاند 2185، وهي ثلاثة نجوم حمراء أضخم قليلاً من بروكسيما سنتوري وعلى مسافة 8.6 سنوات ضوئية يوجد نظام "سيريوس" المُزدوج. سيريوس آ، النجمُ الأبيض الأضخم بِمرَّتين وثلُث من الشمس والأكثر إضاءة منها بـ 23 مرَّة، هو الأكثر لمعَاناً في السماء. وسيريوس ب، الذي كتلته كالشمس تقريباً، لكن حوالي ألف مرَّة أقلّ إضاءة منها، ومئة ألف مرَّة أصغر، هو قزمٌ أبيض، والأوَّل الذي لم يُكتَشف أبداً. وأخيراً، من بين النجوم الباقية، نُصادِف أيضاً أربعة أزواج، منها زوج "بروسيُّون (الشِّعرى الشامية)." آ و ب شديد الشبَه بزوج سيريوس.

نجوم جِوارِنا، على عكس كواكب المجموعة الشمسيّة، لا تُشكِّل مجموعةً؛ فهي بعيدةٌ بعضها عن الآخر إلى حدٍّ أنَّها غير "مُرتبطة" بروابط الجاذبية (طبعاً ما عدا الأنظمة المُزدوجة أو المُتعددة، أو ألفا سنتوري). يُمكن أن تختلِف مسافاتها المُتبادَلة إلى حدٍّ كبير مع مُضيّ الزمن، لأنَّ حركاتها في المجرَّة غير مُتطابقة. وهذا يتضمَّن تغيُّر مظهر الجوار الشمسيّ بالتدريج، على مستوى زمني يُقاس بعشرات ومئات آلاف السنين. وهكذا لم يكن نجمُ بروكسيما سنتوري دائماً جارَنا الأقرب؛ إذ صار جارَنا منذ 33000 سنة تقريباً، حالاًّ محلَّ مجموعة غلِيس 65 المزدوجة. وبعد 32000 سنة، سيحلّ محلَّه، هو الآخر، النجم الأحمر الصغير "رُوسّ 248، الموجود حالياً على بُعْد 10.8 سنوات ضوئية، وسوف يقترِب من الشمس إلى مسافة 2.9 سنة ضوئيّة. كذلك سوف تزدادُ أربعة نجوم أُخرى اقتراباً خلال المليون سنة القادمة. من بينها، DM+61366، الذي سوف "يمَسُّ" مجموعتنا الشمسية على مسافة 0.3 سنة ضوئية فقط (تقريباً أقرب بخمس عشرة مرَّة من ألفا سنتوري!)؛ إذ لا بُدَّ أن يحدُث هذا، وفق حسابات "روبير سيزارون"، من مُختبَر الطيران بالدفع في الولايات المُتَّحدة، في العام 814872 بعد الميلاد.

تُقاس المسافات التي تفصلنا عن النجوم، حتى في أحسن الأحوال، بالسنوات الضوئية. وهذا، من جهةٍ أُخرى، حُسنُ حظٍّ فائق؛ لأنَّ الجوار المأهول بكثافة لا بُدَّ أن يجُرَّ تبِعاتٍ كارثيّةً على مجموعتنا الشمسيّة. وبالفعل، كما رأينا في الفصل السابق، قد يُخِلُّ اقتراب نجمٍ بسحابة مُذنّبات "أورت" التي تُحيط بنا، مُرسِلاً عِدَّة



الشكل 2-2. وضع الشمس في درب التبّانة، المجرَّة الحلزونية التي قطرها 10000 سنة ضوئية، المرئية مواجَهةً (في الأعلى) ومن خلال المقطع (في الأسفل). تقع الشمس على مسافة 27000 سنة ضوئية من مركز المجّرة.

"شُهُب مُتفجِّرة" صوب داخل المجموعة الشمسيّة. وقد يُسبِّب ارتطامُ الأرض بواحدٍ من هذه الشُّهب القضاءَ على أنواعٍ شبيهة بذلك الذي وضع نهاية لمملكة الديناصورات، قبل 65 مليون سنة (الفصل الثالث).

إنَّ عُزلتنا الكونية، المفيدة جدّاً لاستقرار مجموعتنا الشمسية تجعل الأسفار بين الكواكب في غاية الصعوبة. وبُغية بلوغ النجوم الأقرب في زمنٍ معقول، ينبغي التنقُّل بِسرعة تبلغ على الأقلّ عُشر سرعة الضوء (0.1c). وسرعات عالية كهذه ماتزال عصيّةً على تقنيَّتنا الراهنة؛ حتى مع استكمال معارفنا إلى أقصى حدودها، يصعُب علينا أن نواجهها بِجديّة.

خيول الفضاء

الطريقة اليتيمة التي نعرفها اليوم للتنقُّل في الفضاء الفارغ تقوم على مبدأ "الفعل - ردّ الفعل" الذي صاغه إسحق نيوتن في القرن السابع عشر. فَبِمجرّد إسقاطِ كتلة في اتِّجاهٍ مّا "يدفعنا" في الاتِّجاه المُعاكِس؛ وكلَّما زادت الكتلة المطرودة وسرعتُها، ننتقل بسرعةٍ أكبر. هذا المبدأ هو قاعدة الصاروخ التقليدي ومركَّباته التقليدية الآتية : الحمولة المُفيدة (بما فيها المُحرِّك)، والوقود (الكتلة التي ستُطرَد خلال الرحلة)، والمادّة القابلة للاحتراق (التي ستُغذّي المُحرِّك وتسمح بتسريع الوقود بحسب السرعة المرغوبة). فغالباً ما تُستخدَم المادة القابلة للاحتراق، التي تُرمى بعد حرقها، وقوداً أيضاً.

أسَّس نظرية الصاروخ التقليدي "أبو الملاحة الفلكيّة" قسطنطين تسيولكوفسكي. ونحن مَدينون له، على نحوٍ خاصّ، بمعادلة الصواريخ المشهورة (شُهرة معادلة $E = mc^2$ تقريباً). بحسب هذه المعادلة، السرعة النهائية V لصاروخ تساوي السرعة V لِطرد الوقود، مضروبةً باللوغاريتم النيبيري للعلاقة بين الكتلة الأوَّلية M، والكتلة النهائية m، أي $V = v \ln (M/m)$. وبغية الحصول على سرعة نهائيـة عالية، ينبـغي ما أمكن زيادة كتلة الوقود M-m وسرعة طردها v. ويُمكننا

أيضاً تخفيض الكتلة النهائية *m*، لكن تحت حدّ مُعيَّن لا يُمكِن أن تتحقّق أية مُهمَّة؛ وبديهي أنَّ هذا الحدّ أكبر بكثير في حال الطيران المأهول من الطيران الآلي.

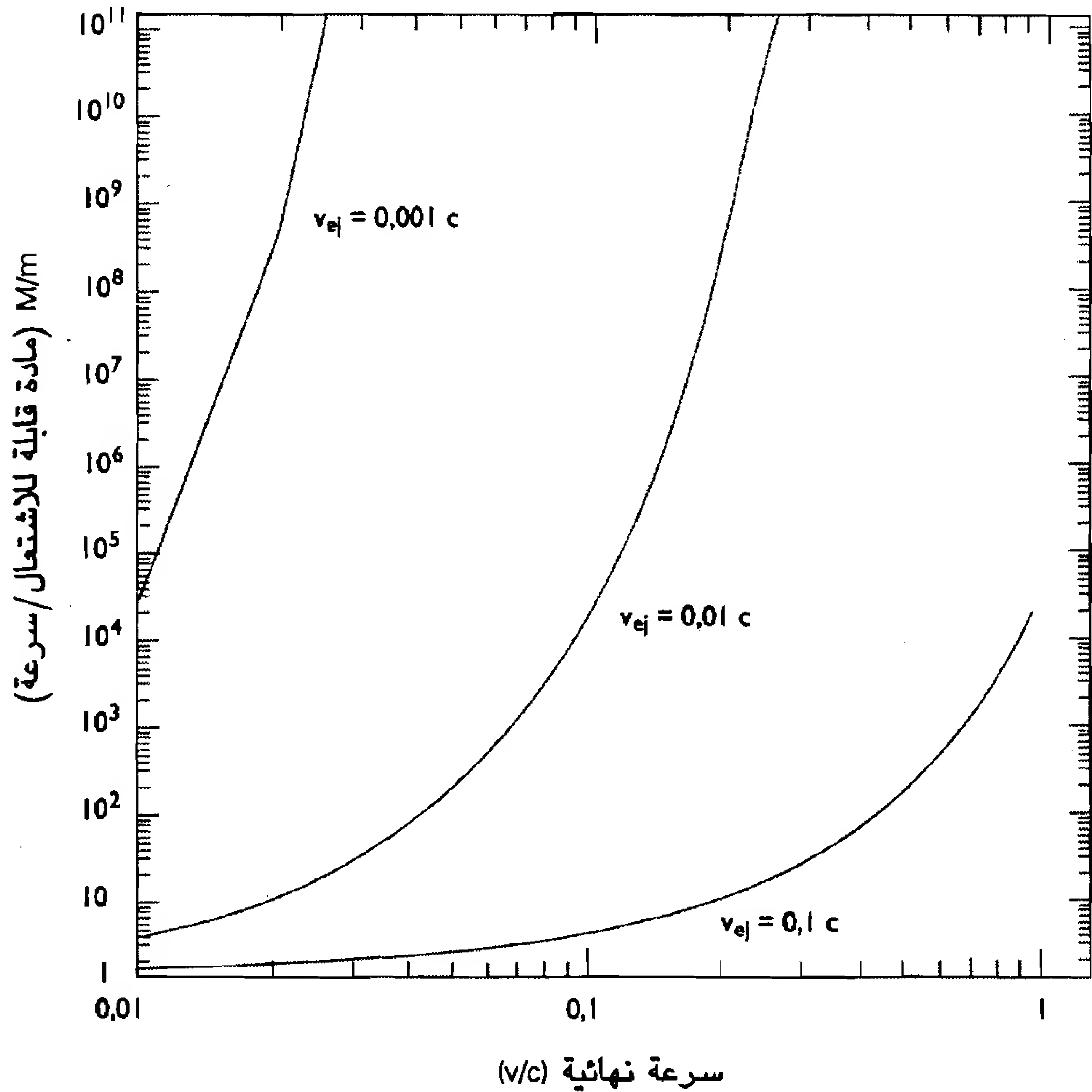
ترتهن سرعة الطرد بنظام الدفع المُستعمَل. فيما يلحق من هذا الفصل ستُعرَض بعض أنظمة الدفع العاملة حالياً، أو المُفكَّر فيها في مُستقبل قريب. تستدعي هذه الأنظمة كلّها مصادر طاقة (كيميائية، أو نووية، أو طاقة أُخرى) تُحوِّل جزءاً من كتلة المادة القابلة للاحتراق إلى طاقة، فكلَّما كان هذا الجزء (المُسمَّى أيضاً فعالية المسار) عالياً، تعاظمت سرعة الطرد المُحصَّلَة. الفعالية، في حال مصادر الطاقة الكيميائية، ضعيفة جدّاً (10^{-10} في أفضل الأحوال)، وتقود إلى سرعة طرد لِعدّة كيلومترات في الثانية. أمّا فاعلية مصادر الطاقة النوويّة فأكثر بملايين المرّات، حوالي 10^{-4} لِتفاعلات شطر نظائر اليورانيوم و$5x10^{-3}$ لتفاعلات شطر نظائر الهيدروجين الخفيفة. تؤدي هذه القِيَم إلى سرعاتِ طَرْد نظرية من مستوى 0.01 c إلى 0.1 c (نمونجياً، بعض أجزاء العشرة من سرعة الضوء). لكنْ طريقةُ تحويل المادة القابلة للاحتراق إلى وقود، تجعل هذا الأداء النظري محدوداً في التطبيق.

لرفع السرعة النهائية للصاروخ، يُمكننا أن "نتلاعب" مع العامل الثاني من نظرية تسيولكوفسكي، أي مع العلاقة بين الكتلة الأوَّلية، والكتلة النهائية. ولسوء الحظ فإنَّ اللوغاريتم النيبيري وظيفة تتغيَّر ببطء: ينبغي أن تُرفَع علاقة الكتلة بقوَّة ليتِمّ الحصول على زيادة متواضعة في السرعة. يظهر هذا بصورةٍ أفضل إذا أعدنا كتابة مُعادلة تسيولكوفسكي على شكل: $M/m = exp(V/v)$؛ إذ نرى أنَّ علاقة الكُتَل تزداد أُسيّاً مع السرعة النهائية V (بالنسبة لِسرعة طرد v ثابتة). وهكذا ينبغي وجود علاقة كُتَل من 10 للحصول على V = 2.3 v، علاقة من 100 لمُضاعفة هذه السرعة (للحصول على V = 4.6 v)، وعلاقة من 1000 لِضربها بثلاثة، لبلوغ V = 6.9 v. نرى أن العلاقة تغدو بسرعة فائقة ضخمة جدّاً، وتتطلَّب كميّات هائلة من المادة القابلة للاحتراق (الشكل 2-3). سبب هذه الزيادة

الأُسيَّة أنَّ الصاروخ التقليدي يجب أن يحمل وقوده الخاصّ ومادّته القابلة للاحتراق؛ فكلما حمل وقوداً، احتاج إليه أكثر لكي يحمِله. فالكتلة النهائية، لا تُشكِّل، بصورة عامة، إلا جزءاً بسيطاً من الكتلة الأوَّلية التي تسيطر عليها المادةُ القابلة للاحتراق والوقود سيطرةً كليَّة.

يعود أصلُ الصواريخ من نموذج ساتورن ٧، أو آريان أو إينيرجيا إلى الألعاب الناريّة في الحضارة الصينيّة في القرن الثاني عشر. هذه الصواريخ تُطلِق طاقتها من التفاعلات الكيميائية التي تُسبِّب إعادة ترتيب مُفاجئة للموكب الإلكتروني المحيط بِنُوى الذرَّات. تتمّ هذه التفاعلات الكيميائية بين مادّتين، المُحرِق والمؤكسِد، في الحال الصلبة أو السائلة. في الحال الأولى (المُنحدرة من الألعاب الناريّة)، المُحرِق والمؤكسِد مُخزَّنان على شكل مسحوق ناعِم. وبشكلٍ عام، فإن صواريخ المادة القابلة للاحتراق السائلة أكثر تعقيداً، لأنَّه ينبغي ضخّ هذه المادة على شكل رذاذ بقُطيرات ناعمة في غرفة الاحتراق، بضغطٍ عالٍ وحرارة مُرتفعة. وفي الحالَين، المادة القابلة للاحتراق تُسخَّن بُغتةً إلى معدَّل عِدّة آلاف من الدَّرَجات، فتتبخَّر وتذوب؛ وإذ تُجبَر على الخروج من ماسورة العادِم (المِنفَث)، تدفع الصاروخ في الاتِّجاه المُعاكِس.

تعتمد سرعة الطرد التي يتِمُّ الحصول عليها بهذه الطريقة على حرارة الغاز و"ثقل" جُزيئاته؛ فكلَّما ارتفعت درجة الحرارة، كانت الجُزيئات خفيفة، وتعاظمت سُرعتُها. أمَّا ما يُحدِّد هَذين العاملَين أيضاً فهو طبيعة المادّة القابلة للاحتراق. فمع المواد القابلة للاحتراق الصُّلبة الحاليّة، يُمكِن الحصول على سُرعات من 3 كم/ثا. والوقود الأكثر استطاعةً المُستخدَم حاليّاً في البرنامج الفضائي (وفي مُحرِّكات المكُّوك الأساسية) هو خليط من الهيدروجين والأكسجين السائلَين، اللذين يُولِّد تفاعُلهما بخار الماء. وسرعة الطرد التي يتمّ الحصول عليها هي 4.5 كم/ثا، وهي قريبة من الأداء الأقصى 5 كم/ثا الذي يُمكننا بلوغه نظرياً مع هذا الوقود.



الشكل 3-2. علاقة كتلة (كتلة أوّلية/كتلة نهائية) لصاروخ تقليدي وفقاً لسرعته النهائية. الكتلة الأولية هي جوهرياً كتلة المادة القابلة للاحتراق، بينما الكتلة النهائية هي سرعة السفينة الفضائية. يُعبَّر عن السرعة بحسب سرعة الضوء C. بغية الوصول إلى النجوم القريبة في فترة زمنية معقولة، تلزم سرعة نهائية مقدارُها 0.1 c على الأقلّ. المُنحنَيات الثلاثة تتطابق مع سرعات طرد المادّة القابلة للاحتراق من 0.001c و 0.01c و0.1c، على التوالي. في الحال الثالثة فقط، يُمكننا بلوغ سرعات نهائية كبيرة مع علاقة كتلة غير مُرتفعة أكثر من اللازم.

النتائج القياسية النظرية لِجُملة المواد الكيميائية القابلة للاحتراق، معروفةٌ اليوم. ويمكن أن تُحقِّق بعض التركيبات الكيميائية سُرعات طرد أعلى قليلاً من سُرعات الخليط هيدروجين ـ أكسجين، حتى 7 كم/ثا. تلك هي حال الخليط فلور

ـ LiH2 السائلَين، أو أيضاً حال الخليط أكسجين -BeH2؛ ومع ذلك هذه التركيبات انفجارية على مستوى عالٍ، ولن تُستخدَم أبداً لدفع صاروخ. وقد اقتُرحت موادٌّ قابلة للاحتراق كيميائية أكثر مردوداً أيضاً. وتبقى فاعليَّتها غير مُبرهَنة، لكن، على كُلّ حال، لن تكون قوَّة الدفع المُحصَّلة أبداً أعلى من 20 كم/ثا.

من الواضح أنَّ الصواريخ الكيميائية لن تستطيع أبداً أن تقودنا إلى النجوم. فَلكي نصل إلى سرعة نهائية من 10000 كم/ثا (3% من سرعة الضوء) مع سرعة طرد مُثلى من 10 كم/ثا، يجب وجود علاقة كتلة من e^{1000}. هذا يعني أنه يجب، من أجل شُحنة "مُجدِيَة" من ذرَّة واحدة، طرد 10^{434} ذرَّة من المادّة القابلة للاحتراق؛ والحال أنَّ الكون الذي يُمكن مُلاحظته لا يحتوي إلّا على 1080 ذرَّة. ومن حُسن الحظّ أنَّ هناك مصادر طاقة أكثر فاعليّة. يسمح الدفع الأيوني ببلوغ سُرعات طرد عالية مع تقنيّة فاعلة أصلاً. إذ يزوِّد مُولِّد كهربائي بالطاقة اللازمة لتأيين ذرَّات الوقود، بنزع أحد ألكترونات موكبها. الأيونات الناتجة ذات شُحنة موجِبة؛ وبذلك تستطيع أن تكون مُسرَّعة إلى سُرعات عالية عبر حقل كهربائي، يُغذِّيه المولِّد الموجود على المتن. بديهيٌّ أنَّ الألكترونات، إذا ما بقيت على متن الصاروخ، سَيُشحَن الصاروخ سريعاً بشحنة سالبة؛ إذاً سينتهي إلى جذب حزمة الأيونات الموجبة المطرودة إلى الخلف، ممّا سيحُدّ من أداء النظام. لهذا السبب، تُسرَّع الألكترونات أيضاً نحو العادم، حيث تلتقي من جديد بالأيونات الخارجة وتُشكِّل معها حُزمة كهربائية حيادية.

سبَق أن صُنِعت مُحرِّكات دفع أيونيّة وجُرِّبت في الفضاء الأرضي المُستقِرّ. وتباينت سُرعات الطرد المُحصَّلة حالياً بين 25 و100 كم/ثا، على حين أنَّ الأداء الأقصى لهذه التقنيّة يُقدَّر بحوالي 1000 كم/ثا، أيّ أفضل من الدفع الكيميائي بخمسين مرَّة.

حالياً، يُغذِّي الانشطار النووي المُتقَن منذ الأربعينيات، مُفاعلاتنا النوويّة.

في الستينيات، تمَّ مشروعٌ طَموح في الولايات المُتَّحدة، هدفُه صناعة مُحرِّكات انشطارية للصواريخ. صُنِعت منها نماذج تجريبية (نيرفا، وكيوي، وروفير)، وتمَّ تجريبها في المُختبَر، لكنَّ أيّاً منها لم يُحلِّق. ففي السبعينيات أُهمِل البرنامج الذي كلَّف عدّة مليارات من الدولارات.

تُستخدَم الطاقة التي تنتج عن المفاعل الانشطاري لتسخين الوقود (عموماً لتسخين الهيدروجين) إلى عدّة آلاف درجة. وكُلَّما كانت الحرارة عالية، تعاظمت سُرعة خروج الوقود من المِنفث. هذه هي حال قلب المُفاعل الذي يُحدِّد هذه الحرارة، فمُفاعِلات القلب الغازي تسمح بدرجات حرارة وسُرعات أعلى مما تسمح به مُفاعِلات القلب الصُّلب أو السائل. وتتراوح سُرعات الطرد ما بين 5 و 11 كم/ثا بالنسبة لِمُفاعِلات القلب الصلب، ويُمكن أن تبلغ 30 إلى 70 كم/ثا في حال المُفاعِلات ذات القلب الغازي.

على الرغم من فعالية مُفاعِل انشطار نووي من حيث كونُه مصدراً للطاقة، فهو لا يستطيع أن يُنتج سُرعات الطرد اللازمة للأسفار بين الكواكب. لأنَّ حرارة الوقود تجعل كفاءته محدودة، وهي لا ينبغي أن تتعدّى حدوداً مُعيَّنة (وإلا صار القلب عُرضةً للانصهار، بل للتبخُّر. وبالمقابل، يبدو دمجُه مع مُحرِّك بالدفع الأيوني واعداً إلى حدٍّ مّا، لأنَّ هذا الأخير لا يواجه عوائق الحرارة، (فالأيونات المُسرَّعة، التي يُركِّزها الحقل المغناطيسي، لا تُلامس حوافَّ المنفث). وقد يسمح مفاعل انشطاري، إذ يُغذّي مُحرِّكاً أيونياً قويّاً، بالوصول إلى النجوم القريبة. ومع ذلك، فكميّة المادّة الانشطارية (من اليورانيوم) اللازمة للرحلة كمية باهظة. فبُغية الوصول إلى بروكسيما سنتوري خلال قرن بسرعة 0,05c، وسرعة طرْد من 1000كم/ثا، تلزم علاقةُ كتلة بمقدار 5 ملايين من أجل رحلة ذهاب؛ وتستلزم حمولة مُفيدة مقدارها عشرة أطنان، 50 مليوناً طَنّاً من اليورانيوم، وهذه كمية أعلى بآلاف المرّات من الاستهلاك السنوي العالمي اليوم ...

يُحوِّل الاندماجُ النووي الكُتلةَ إلى طاقة تفوق فعاليّتُها فعاليةَ الانشطار. ومع

هذا، فالاندماج المُراقَب، خلافاً للاندماج الانفجاري، ليس مضبوطاً. ذلك أنَّ تجربة الأربعين سنة الأخيرة، مثلما رأينا في الفصل السابق، توحي بأنَّ هذا الضبط لن يكون مُمكِناً قبل عقدين أو ثلاثة عقود على الأقلّ. ففي صاروخ يدفعه الاندماج المُراقَب، قد تتسرَّب البلازما الساخنة من أحد جوانب المُفاعِل، مُباشرة أو بعد أن يُسرِّعها الحقل المغناطيسي. ممّا قد يسمح بالحصول على سُرعات طرد عالية نوعاً مّا، بمُعدَّل عِدَّة آلاف كم/ثا. هذه النتيجة القياسية أعلى من أفضل النتائج النظرية للصواريخ الأيونيّة (التي يُغذّيها مُفاعل انشطاري). أكيد أنَّ المُفاعل الاندماجي سيكون أثقل كثيراً من المُفاعل الانشطاري، إذ يصعب تصوُّره أقل وزناً من حوالي مئة طَنّ. لكِنّ كفاءته العالية سوف تسمح ببناء سفن فضائية للملاحة بين النجوم بكُتل أوّلية "معقولة".

انكبَّ علماء الفيزياء، وهم ينتظرون ضبط الاندماج الحراري النوويّ، على فكرةٍ أُخرى: استخدام طاقة التفجيرات النوويّة.

مشروع أُوريون وصواريخ دايسون

ليست فكرة استخدام الطاقة التي تُنتجها الانفجارات لدفع عرَبة، بالفكرة الجديدة.، فمُحرِّكات سياراتنا هي، في النهاية، "مُحرِّكات انفجاريّة" بامتياز، لكنَّ هذا الانفجار يبقى محبوساً في المُحرِّك (وهذا بالضبط ما يفسّر سبب تعقيده). لقد تصوَّر المهندس الألماني "هرمان غانسونت"، في نهاية القرن الماضي، سيَّارات يدفعها الانفجار الكيميائي. وبعد نصف قرن، كشفتْ أوَّلُ القنابل النوويّة الفعاليّةَ الخارقة للمُتفجِّرات النوويّة. لكن كيف نتصوَّر أنَّ شيئاً مَّا يُمكِن أن ينجو من جحيم مثل هذا الانفجار، وكيف يُمكِن أن تُركَّز الطاقة الهائلة الناتجة عن ذلك ؟

بدأ فيزيائيُّو مشروع "مانهاتان"، الذي ولَّد القنابل النووية الأولى، بالتفكير في هذه الأسئلة حوالي نهاية الأربعينيات. وفي سنة 1947، أوحى عالِمُ

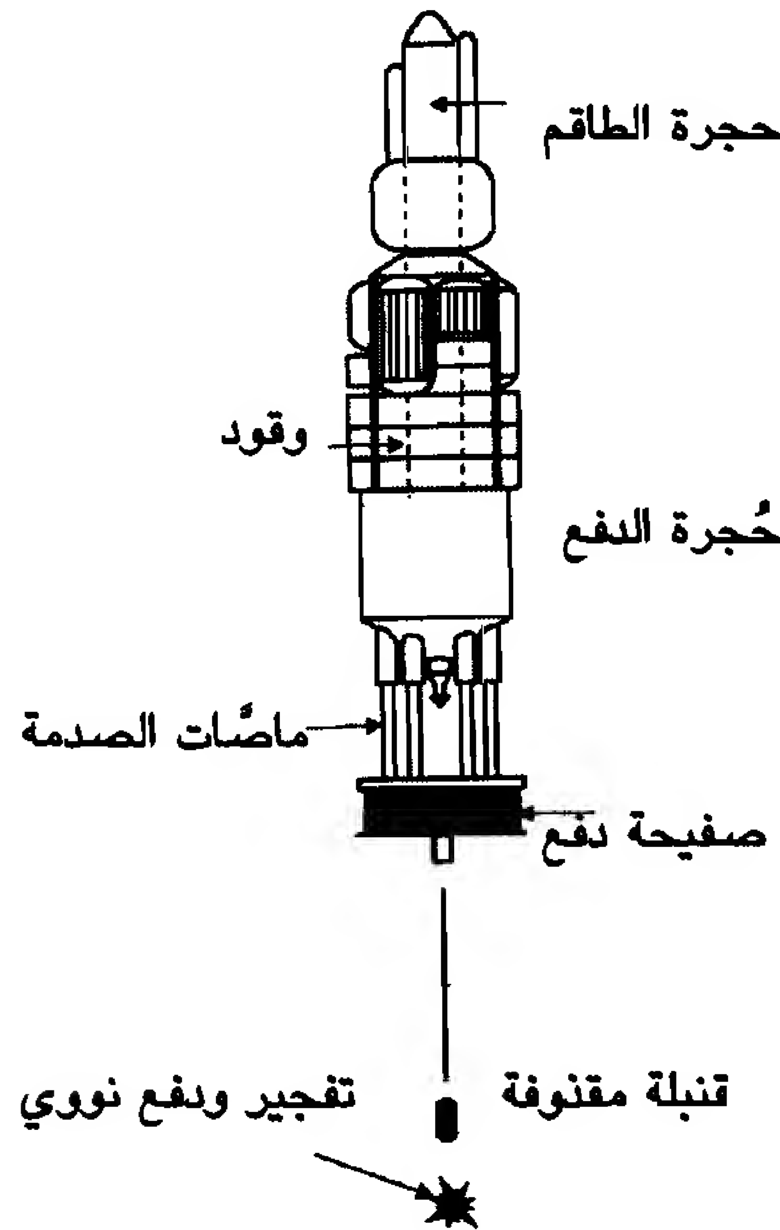
الرياضيات "ستانيسلاو أولام"، وزميله "فريديريك رينز"، في تقريرٍ تمَّ تحضيره في مُختَبر أميركي في "لوس آلاموس" في المكسيك الجديدة، بمفهوم "الدفع النوويّ العنَفيّ". العنصر الأساسي لهذه الفكرة هي صفيحة معدنيّة أحد جانبيها مطليّ بالغرافيت، وهي مادّة قادرة على امتصاص كميات كبيرة من الحرارة (قدرة حرورية كبيرة، كما يقول عُلماء الفيزياء). بإمكان هذه الصفيحة أن تُقاوِم، خلال جزء من الثانية، الحرارة الناتجة عن تفجير نوويّ على مسافة عشرات الأمتار. وقد يرتدُّ جزء من الشظايا المُتبخِّرة من القنبلة، المقذوفة بسرعة عشرات آلاف الكيلومترات في الثانية، على الصفيحة، دافعاً إيَّاها بِعُنف. فإذا كانت الصفيحة موصولة بسفينة فضائية عبر آليّة قادرة على امتصاص الصدمات بالغة القوّة، نُقِلت حركتها إلى السفينة التي يُمكِن أن تدفعها التفجيرات المُتكرِّرة في أوقات مُنتظَمة.

بيَّنت بعض التجارب التي أُجريت، في بدايةَ الخمسينيات، ضمن إطار البرنامج النووي العسكري الأميركي، أنَّ الفكرة لم تكُن عبثيّة: قد تُقاوِم موادٌّ عادية كالفولاذ والألومنيوم، درجات حرارة مُعدَّلها عدّة مئات الآلاف، خلال بضعة أجزاء من الألف من الثانية، من دون خسارة تُذكَر من سطح الصفيحة. قام "أولام" و"كورنيليوس إيفيريت"، وقد تحصَّنا بهذه التجارب، بالحسابات التحليلية الأولى لجهاز دفع نووي عنَفي، عرضوها سنة 1955. كان الأمر مُتَّصلاً بجهازٍ وزنه 12 طنّاً، مُجهَّز بصفيحة عاكسة قطرها عشرة أمتار، مشحونة بحوالي مئة شُحنة نوويّة ذات قدرة ضعيفة. تنفجر القنابل على مسافة 50 متراً من الصفيحة في كل ثانية، مانحة السفينة سُرعةً نهائية قدرُها 20 كم/ثا.

استُخدِمت هذه الحسابات التمهيدية قاعدةً لِمشروع "أُوريون" المستأنَف سنة 1958، بالضبط بعد إطلاق "سبوتنيك" وقبل إقلاع البرنامج الأميركي لصواريخ الدَّفع الكيميائي. خلال سبع سنوات، شغل هذا المشروع الذي كلَّف حوالي 11 مليوناً من الدولارات، فريقاً قِوامُه حوالي أربعين عالِماً فيزيائياً. وكان

على رأسه "تيودور تايلور" الذي سبق أن عمِل على تصميم الأسلحة النووية في لوس آلاموس.

وسُخِّر جزءٌ كبير من عمل فريق أُوريون لتصوُّر منظومة (مُخمِّدات ماصَّات للصدمة، فعَّالة، قادرة على امتصاص تأثير نواتج الانفجارات. وأُجرِيَت اختبارات القطع على مُختلف الموادّ، ورُبَّما بِمساعدة مشاعِل البلازما عالية الحرارة، وليس بِواسطة شُحنات نوويّة. حتى لو أنَّ تفاصيل البرنامج ما تزال سِرِّيَّةً، يبدو أنَّ فريق عمل تايلور قد حلَّ المشكلات التقنية الأساسيّة. صُنِعت عرَبة تجريبيّة وحيدة، وتمَّ اختبارها في كاليفورنيا، ولأنَّ اسمها (المأخوذ من صوت مُحرِّكها) "بُتْ ـ بُتْ Put-put"، فقد بلغت، بِمساعدة مُتفجِّرات كيميائية، ارتفاعاً قدرُه 60 متراً.



الشكل 4-2. السفينة بين الكوكبية لبرنامج أُوريون.

تصوَّر فريق أُوريون عِدَّة صواريخ بين كوكبيّة. سيكون للصاروخ نموذج كتلة وزنها عِدَّة آلاف طَنّ، وتستخدم عِدّة آلاف من الشُّحنات النوويّة بكثافة ضعيفة، من 0,01 إلى 10 كيلوطَنّ (كانت قوّة قنبلة هيروشيما حوالي 20 كيلوطَنّ). تنفجر القنابل على فواصل زمنية مُنتَظمة من عِدّة ثوانٍ، ويمكنها تسريع السفينة إلى ما يُقارب 1 ج (تسريع الثقالة على مستوى البحر). ويُمكِن للسفينة، مع سرعة نهائية تتراوح بين 20 إلى 100 كم/ثا، أن تقوم بمهمَّة ذهاب - إياب إلى المرِّيخ في أقلّ من سنة.

لم يتلقَّ برنامج أوريون أبداً الإشارة الخضراء من السلطات الأميركية. فقد أجهزت عليه معاهدة 1963 لحظر التجارب النوويّة في الغلاف الجوّي، وفي الفضاء، بالضربة القاضيَة. وفي النهاية تغلَّبت عليه صواريخ الدفع الكيميائي. ففي عام 1968، كتب "فريمان دايسون، أحد الأعضاء الأساسيِّين للفريق، مُحبَطاً: "... *كنّا نظنُّ أنّ ثمّة إمكانيّةً للمُضيّ مُباشرةً إلى الدفع النووي المقذوف، وتجنُّب بناء صواريخ كيميائية بضخامة ساتورن V. كان هدفُنا أن نُرسِل صواريخ إلى المرِّيخ والزهرة في نهاية الستينيات بتكلفة أقل بكثير من تكلفة برنامج أبولو ... أظنُّ أنّ ساتورن V، يُمثِّل، بالقياس إلى صاروخ أُوريون، ما تُمثِّله مناطيد الثلاثينيات العملاقة بالقياس إلى طائرة بوينغ 707: فهي شاسعة، هشّة، تحمل شُحنةً مُفيدةً ضئيلة قياساً إلى حجمها ...*"

يتركّز برنامج أُوريون على الأسفار بين النجوم بمساعدة شُحنات انشطار نوويّ. وعلى الرغم من إحباطه، لم يتردَّد دايسون في استكمال تطبيق هذا المفهوم على الصواريخ بين النجميّة. وقد أوحى سنة 1968 بأنّ شُحنات الاندماج الحراري النوويّ يُمكِن أن تدفع سفينةً مأهولةً إلى النجوم الأكثر قُرباً. كانت نُسختُه المُفضّلة تتضمَّن سفينة مُتراصّة نسبياً وزنها 20000 طَنّ، تصِلُها بصفيحة بنفس الوزن، ماصّات صدمة طولُها حوالي مئة متر (الشكل 2-4).

يحمّل الصاروخ بثلاث مئة ألف قنبلة نووية حرارية تزن كل منها طنّاً واحداً وتبلغ قدرتها الانفجارية ميغا طَنّ (أقوى خمسين مرَّة من قنبلة هيروشيما). مع انفجار كُلّ خمس ثوانٍ، ستتسارع السفينة، بعد عشرة أيّام، إلى سرعة نهائية قَدرُها 10000 كم/ثا، أي بمعدَّل 3% من سرعة الضوء. مع سرعة الطّواف هذه، قد تستغرق ما يزيد قليلاً عن قرن لتصل إلى المجموعة النجمية الأقرب، وهي ألفا سنتوري. ولكي تُخفّف السفينة تسارُعَها عند الوصول، يجب أن يُضاف إليها طابقٌ ثانٍ، ممّا يرفع وزن كتلتها الإجماليّة إلى مليار ونصف طَنّ.

تزيد كمية القنابل النوويّة اللازمة لرحلة الذهاب هذه على قنابل ترسانات ذلك العصر مُجتمِعةً. كان لاقتراح دايسون فائدة أكاديمية؛ تهدف إلى بيان أنَّ في وسعنا الوصول إلى النجوم القريبة في أجَلٍ "معقول"، ومع تقنية متوفِّرة في الستينيات. ولم يُخامرْه أدنى شكٍّ في أنَّ هذا المشروع سيوفِّر وسيلةً ممتازة للتخلُّص من الترسانة العالمية لأسلحة الدمار الشامل.

من المُهِمّ تقدير تكلفة بعثة كهذه، خمَّنها دايسون بِعدّة مليارات دولار، أي بما يُعادِل الناتج القومي الإجمالي للولايات المُتَّحدة في تلك الفترة. وإذ اعتبر دايسون أنَّ أي برنامج أكثر تكلفةً بنسبة مئويّة مَّا من ثروات بلدٍ مُعيَّن، لا يُمكِن أن يُشرَع فيه في زمن السِّلم، اقترح وجوب انتظار قرنين قبل أن يصير برنامجه قابلاً للنجاح اقتصادياً. وقد أقام تقديره على مُعدَّل نموّ اقتصادي سنوي قدرُه 4%، وهو ما يتطابق مع المُعطيات الموائمة للستينيات، لكن الذي قد ينخفض بشكل ملحوظ اليوم. تنطبق هذه الاعتبارات، إجمالاً، على جملة النماذج الأخرى للسفر بين النجوم الذي نتفحَّصُه في هذا الفصل، والذي لا يعتمد على تقنية "مُستقبليّة" مُفرطة. وهي تُبيِّن أنه، من دون ثورة تقنية كُبرى، سيكون من الصعب التفكير في رحلة بين النجوم قبل قرنين أو ثلاثة قرون.

ديدالوس : المشروع

لقد عدّلت الأبحاث حول الاندماج الحراري النووي المُراقَب في بداية السبعينيات، مفاهيم الدفع المقذوف للسفن بين الكوكبيّة تعديلاً كبيراً. فقد قُدِّر أن تُستبدَل الشحنات الميغاطَنيّة، التي تستلزمُ بنىً ثقيلة للغاية لتمتصّ الصدمات، بتفجيرات صغيرة أقل قوّة بآلاف المرّات من قنبلة هيروشيما. هذه التفجيرات الصغيرة ستتفجَّر بتقنية "الحصر العطاليّ"، وقِوامها تفجير قِرص صغير من النظائر الخفيفة من خلال حزمة قويّة من الفوتونات أو الألكترونات. ستتجمّع الحُزَم في هدفها من عدّة اتجاهات مُتزامنة، وتكبِسه، وتُسخِّنه إلى عدّة مئات من ملايين الدرجات، ممّا يؤدّي إلى اندماج النظائر الخفيفة. هذه الطريقة مُجرَّبة حالياً في عِدّة مُختبَرات عبر العالَم، لكنّها لم تُفضِ بعدُ إلى نتائج حاسمة؛ مع أنّها تُشكِّل تقنيةً واعِدةً لِضبط الاندماج الحراري النووي.

على عكس الانفجارات الميغاطنيّة لصواريخ دايسون، لن تحدث التفجيرات الصغيرة التي يُسبِّبها الحصْر العطاليّ خارج السفينة، بل داخلها. وسَتُستبدَل صفيحة مشروع أوريون في النظام الجديد بحقل مغناطيسي سيُوجِّه البلازما الساخنة في التفجير صوب العادِم. وسيُحصَّل جزء من طاقة الانفجار ويُستخدَم لتغذية حُزَم الحصر العطاليّ.

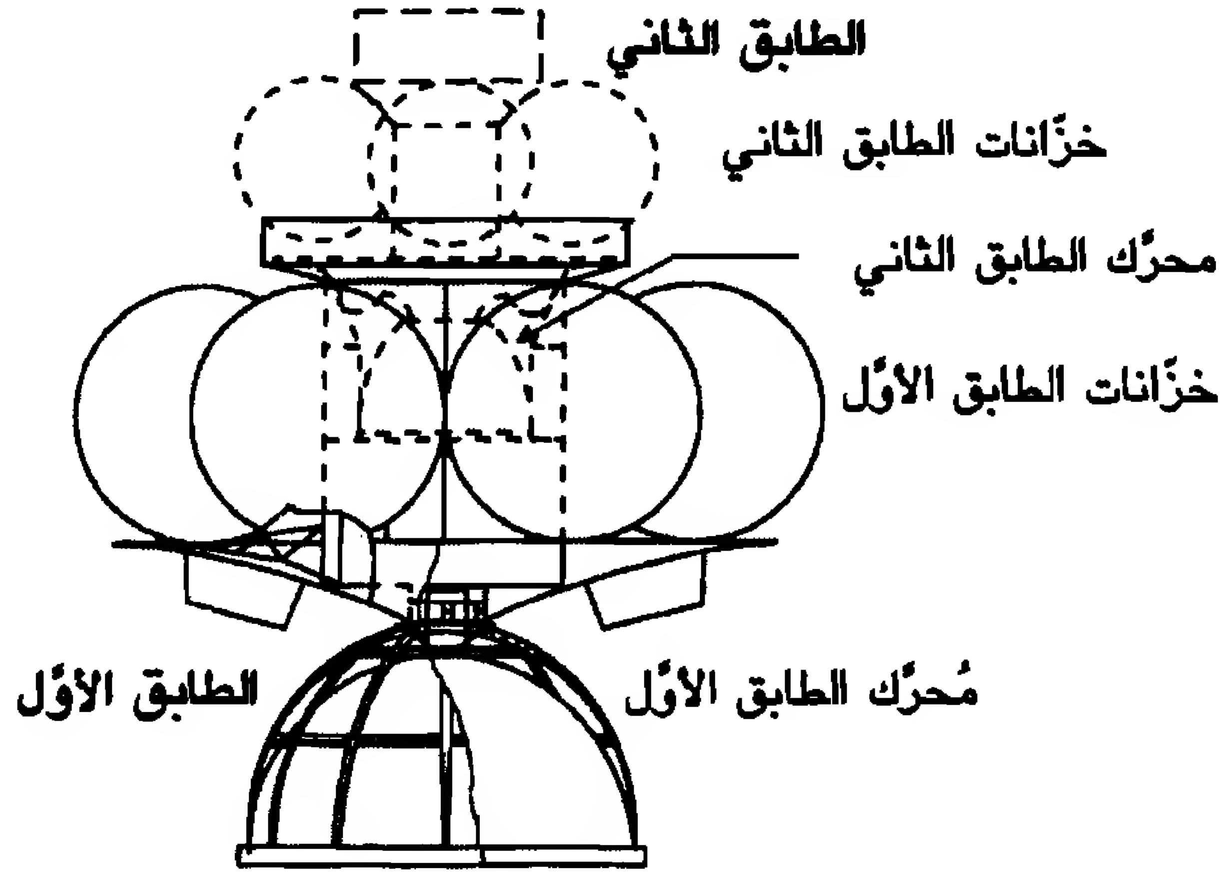
على قاعدة هذه الأفكار صُمِّم برنامج ديدالوس في الجمعية البريطانية بين الكوكبية. هذه الجمعية التي أُسِّست سنة 1933 هي واحدة من أقدم التنظيمات الفضائية في العالَم. كانت واحدة من دراساتها المنشورة سنة 1939 تتّصل ببعثة ستمضي بعيداً فيما وراء قُدرات العصر: إرسال سفينة مأهولة إلى القمر. تقوم السفينة المُصمَّمة ضمن إطار هذه الدراسة على تقنية الثلاثينيات، وتشبه قليلاً تصميمات برنامج أبولو. ومع ذلك، استُخدِم تصميمها لبيان أنّ بعثةً كهذه كانت ممكنة من الناحية التقنية. انطلاقاً من التفكير ذاته، كانت الجمعية البريطانية بين الكوكبية تُطلِق، سنة 1973، برنامج ديدالوس، المُشتقّ من اسم المهندس العبقريّ

في الأسطورة الإغريقية، ديدال، أبي إيكار الذي كان يخترع الأجنحة التي تسمح لهما بالهرب من سجن الملك "مينوس" (المتاهة). حول هذا البرنامج، أدار آلان بوند، المهندس في مُختَبر كولهام في بريطانيا، خلال خمس سنوات، فريقاً من ثلاثة عشر مُهندساً. كانت نتيجة عملهم، حتى ذلك التاريخ، هي الدراسة الوحيدة المُفصَّلة عن صاروخ بين كوكبي.

نظراً لصعوبات رحلة بين كوكبية، حدّد فريق ديدالوس لنفسه الهدف الأكثر بساطة: طيران غير مأهول يُحلِّق فوق نجمٍ قريب لكي يبثَّ مُعطيات رصده إلى الأرض. يفترض تحقيق البعثة في أجَلٍ "معقول"، خلال نِصف قرن، سُرعةً مقدارها 0.1c، أي 10% من سرعة الضوء.

تمَّ اختيار نجم بارنار، وهو الأقرب إلى المجموعة الشمسية بعد ألفا سنتوري، هدَفاً. يبدو، في السماء الليلية، (بواسطة مقراب!) نجماً صغيراً مقدار إضاءته تِسْع إضاءة "أوفيوكوس". إنَّه قزمٌ أحمر، وممثِّلٌ نموذجي لِصنف النجوم الأقلّ حجماً والأكثر عدداً في المجرَّة. تساوي كتلته حوالي عُشر كتلة الشمس، وإضاءته أضعف من إضاءتها بألفي مرّة، بينما حرارة سطحه لا تتعدّى 3000 كلفن. سيبدو هذا النجم البعيد كالشمس أكثر لمَعَاناً بمئتي مرَّة من القمر حين يكون في طور البدر، وسِتّ مرَّات أقلّ امتداداً في السماء. السبب الرئيس لاختياره هدفاً لديدالوس هو أنّه كان يُشَكُّ، آنذاك، بوجود كواكب في جِواره. ومع هذا، تبيَّن، لحظة انتهاء المشروع، أنَّ علامات الرصد كانت خاطئة. واليوم، ليس ثمَّة أيّة علامة جادّة.

ستُدفع ديدالوس بوساطة طاقة اندماج نظائر الدوتيريوم الخفيفة (D) والهليوم-3 (^3He). وقد رأينا في الفصل السابق الميزة التي يُقدِّمها هذا التفاعُل لعمل مُفاعلات الدمج على الأرض: لا تتعرَّض كميّة النيوترونات القليلة لخطر أن تجعل جدران المُفاعِل مُشِعَّة. وما دامت ديدالوس غير مسكونة، فهذا الخطر



الشكل 2-5. سفينة ديدالوس بين الكوكبية

ليس وارداً. ومع هذا، قد تُسبِّب طاقةُ هذه الجزيئات غير المُراقَبة تسخيناً زائداً للمُحرِّك. على سطح الأرض، يتمُّ تبريد المُفاعلات النووية بسهولة من خلال كميات كبيرة من الماء، لكنَّ هذا غير مُمكن في الفضاء. لذا تبنّى مُخترِعو البعثة الزوج دوتيريوم وهليوم-3 كمادّةٍ قابلة للاحتراق، وهم يعرفون تماماً أنَّ الهليوم-3 لايوجد على الأرض، ولا على الكواكب الصخرية مثل عُطارد والمرِّيخ أو الزهرة. ذلك أنَّ جاذبية هذه الكواكب، الضعيفة، لم تُتِح لها الاحتفاظ بالعناصر الخفيفة، كالهيدروجين أو الهليوم اللذين تسرَّبا في الفضاء في أثناء تشكُّل المجموعة الشمسيّة. ومن جانبٍ آخر، كان فريق ديدالوس يجهل نتائج تحليل الصخور القمريّة ووجود الهليوم-3 على قمرنا.

كان تسريع ديدالوس إلى عُشر سرعة الضوء يتطلَّب حوالي 30000 طَنّ من الهليوم-3 وتقريباً الكمية نفسها من الدوتوريوم. ومن المُمكن أن يتمّ استخلاص هذه الكمية من المادّة القابلة للاحتراق، من الغلاف الجوِّي للكواكب العملاقة التي احتفظت بعناصرها الخفيفة. وقد اقترح فريق ديدالوس استخلاص الهليوم-3 من الغلاف الجوِّي للمُشتري، وهذا مشروع طَموح كمشروع الرحلة

بين الكواكب نفسها ! كان ينبغي أن يُرسَل فيها أُسطولٌ مؤلَّف من حوالي مئة مصنع استخراج، تُغذِّيها مُفاعلات انشطارية صُغرى، يتِمُّ تعليقها على مناطيد عملاقة. ستعمل هذه المصانع، خلال حوالي عشرين سنة، على استخراج الكميّة اللازمة، فاصلةً الهليوم-3 عن نظيره الأكثر ثِقلاً ووفرةً، أي الهليوم-4. وبشكل دوري، ستقوم روبوتات (أجهزة إنسان آلي) برحلات مكوكيّة إلى المناطيد للتزوُّد بالمادة القابلة للاحتراق الثمينة. وبغية تجنُّب نقل آلاف الأطنان من الهليوم-3 عبْر المجموعة الشمسية، يُفضَل أن تُزوَّد السفينة بالوقود قُرب المُشتري. وقد اختار فريق ديدالوس كاليستو، قمر المشتري، القريب إلى حدٍّ مّا من الكوكب العملاق، لكنَّه خارج غلافه الجوّي المغناطيسي الخطير.

ستتضمَّن السفينة التي يبلغ طولُها 190 متراً طابقَين (الشكل 2-5). سيكون مُحرِّك الطابق الأوَّل غُرفةً ضخمة نصف كُروية قطرُها 100 متر (بحجم قُبَّة كنيسة القدِّيس بطرس في روما). وسيُغطّى جدارها الداخلي ببطارية من أربعين مدفعاً إلكترونياً تتجمَّع في مركز نصف الدائرة. سيُقذَف مائتا قرص من المادّة القابلة للاحتراق (D و3He) كلّ ثانية في قلب المُحرِّك حيث تضربها على الفور صاعقة المدافع الإلكترونية : ستُمطر 1000 تيراواط على كلّ قرص في كل جزء من عشرين ملياراً من الثانية. حين يُضغَط القرص بهذه القوَّة الهائلة، ينفجر على الفور ويُنتج الانفجارُ الاندماجي للدوتوريوم، والهليوم-3 طاقةً تُعادِل عِدّة أطنان من مادة TNT؛ سيُحصَّل جزء من هذه الطاقة لتغذية السفينة اللاحقة. وكلّ ساعة سوف يُحرِّر التكرارُ المُنتظَم لهذه التفجيرات الصغيرة، في قلب طاقةً قدرها ميغا طَنّ من الـ TNT.

فوق المُحرِّك الرئيسي تماماً، تحيط ستة خزّانات كُرويّة بهيكل السفينة كعنقود من العنب، قطر واحدها 60 متراً، تتسع لـ 46000 طَن من المادة القابلة للاحتراق اللازمة لتشغيل الطابق الأوَّل : حوالي 12 مليار قرص من الدوتيريوم والهليوم-3، وزن كُلٍّ منها غرامان. لكي تظلّ هذه الأقراص صُلبة، ستُعلَّق في

حوض من الهليوم-4، فيه سائل مُبرَّد إلى درجة 3 كلفن فقط (3 درجات فوق الصفر المُطلَق). كلَّما نفدَت المادة القابلة للاحتراق، تُرمى الخزَّانات لتخفيف السفينة.

وسيحتوي الطابق الثاني على نسخة مُصغَّرة عن الطابق الأوَّل، وستحمل خزَّاناته كتلة 4000 طَنّ إضافية من المادّة القابلة للاحتراق. وفي قمَّته ستوضع الحمولة المفيدة لديدالوس، وهي عربة أسطوانية وزنها 450 طنّاً، وعلى متنها الحاسوب ومختلف أدوات التجارب : ثمانية عشر سابراً موجَّهة لاكتشاف الوسط بين النجوم، ومجموعة بارنارد، ومعدّات فلكيّة (بما فيها مِقرابان بِقَطر خمسة أمتار)، وكذلك روبوتات مُتنقِّلة يتحكَّم بها الحاسوب، وجديرة بأن تقوم بعمليات الإصلاح.

ديدالوس : البعثة

سيتِمّ جمع ديدالوس في محطّة مدارية، في المجموعة الشمسية الداخلية. حين تُنجَز هذه العملية، ستُقاد السفينة إلى مدار حول كاليستو لكي تملأ خزّاناتها التي تتسع لـ 50000 طَنّ من الوقود المُستخرَج من الغلاف الجوّيّ للمشتري. مع إشعال المُحرِّك في النهار الموعود، ستنطلق شُعلة طويلة من البلازما الحارقة بسرعة 10000كم/ثا. سيعمل المُحرّك خلال سنتين، دافعاً السفينة بسرعة 0.07C (7% من سرعة الضوء). بعد إطفاء المحرِّك، سيُقذَف الطابقُ الأوَّل، وسيقوم مُحرِّك الطابق الثاني بإتمام المهمَّة خلال عشرين شهراً أيضاً. ستبلغ السفينة سرعة الطّواف البالغة 0.12c، بعد أربع سنوات على انطلاقها تقريباً.

في هذه اللحظة، ستنطلق ديدالوس بمعدّل 0.2 سنة ضوئية (13000 وحدة فلكية) من الأرض. وسوف تستغرق إشارة إشعاعية لتقطع مسافة ذهاب وإياب بين السفينة وقاعدة المُراقبة، خمسة أشهر. وبديهيٌّ أنّ البعثات بين النجوم، المأهولة أو الآليّة، يجب أن تكون مُستقِلّة، من دون الحاجة إلى القيادة من

الكوكب الأمّ. وسيكون من الضروري تجهيز السفينة بحاسوب استطاعته، على الأقل، كاستطاعة حاسوب "هال"، في رواية 2001، أوديسة الفضاء. طيلة هذه الرحلة اللانهائية، يجب أن يُراقِب الحاسوبُ وظائفَ السفينة كلّها، ويقوم عبر الروبوتات بأعمال الصيانة، ويكون قادراً على التصرُّف أمام أيّ وضعٍ استثنائي، لا يتوقّعه مُصمِّمو البعثة. وينبغي أيضاً أن يُحلِّل مُعطيات رصْد المقاريب، وبالتحديد عند الاقتراب من نجم بارنار. بناءً على هذه المعطيات، وعلى التعليمات القادمة من الأرض (قبل الرحلة أو خلالها)، يجب أن يرسم مُخطّطات لكي يَستخدِم بفعالية العِدّة المتوفِرة له، بهدف الحصول على الحدّ الأقصى من المعلومات. وعليه لاحقاً إطلاقُ المسابر على المسارات المُناسبة، وإجراء تحليلٍ تمهيدي لِملاحظاتها، وإرسال ذلك كلّه إلى الأرض. طبعاً، إنّ حاسوباً بكفاءة طاقم بشري، غير موجود اليوم. ومع هذا، فالتقدّم المُتحقِّق في الأدمغة الاصطناعية يسمح بالتفكير في مثل هذه المشاريع الجريئة في مُستقبلٍ غير بعيد.

بعد خمس وعشرين سنة على الانطلاق، ستبدأ المقاريب المركّبة على متن السفينة باستقصاء نجم بارنار، بحثاً عن موكبه المُفترَض من الكواكب. مع تقنيات السبعينيات، يُمكِن لِكوكب عملاق (كالمُشتري) أن يكون مرئياً قبل عِدّة سنوات من اللقاء به، وتُختزَل المدّة إلى عِدّة أشهر لكشفِ كوكبٍ صغير كالأرض. لم يكُن مُخترعو ديدالوس طموحين بما يكفي في هذه النقطة. والواقع أنّ التقدُّم الخارق في صُنع الآلات الفلكيّة سبق أن سمح بكشفِ كواكب عملاقة حول النجوم القريبة، ولا شكّ في أنّه سوف يُتيح الكشف المُباشر للكواكب الأرضية (إن وُجِدت!) حتى قبل أن يُطلَق الصاروخ بين الكوكبي الأوّل.

ستجتاز ديدالوس، المنطلِقة في جريانها المجنون بسرعة 36000 كم/ثا، مجموعة بارنار في عِدّة أيّام. وستكون للمسابر التي يُطلِقها حاسوبُها، بشكل محسوس، السرعةُ نفسها، ومع قليل من المادّة القابلة للاحتراق لتخفيف سُرعتها؛ لن يستغرق "لقاؤها" بالكواكب المُحتَملة إلّا بضع دقائق، ولا بُدّ أن

يكون مُحضَراً بدقّة حتى يتمّ الحصول على الحدّ الاقصى من المعلومات. يتضمَّن هذا إطلاق السوابر على مسارات مُلائمة قبل عِدّة سنوات من اللقاء، لأنَّ إطلاقاً في اللحظة الأخيرة سيكون مُجازِفاً جدّاً وباهظ التكلفة في المادّة القابلة للاحتراق.

وهكذا، في نهاية رحلة مدّتها خمسون عاماً عبر الفضاء بين النجوم، سيكون كُلُّ شيء جاهزاً للّقاء الثاني بين الإنسان والنجوم (بِمسابر مُتداخلة). ومع ذلك، لا ينبغي أن نُقلِّل من شأنِ خطرٍ أخيرٍ كامن: الوجود المُحتمَل للمُذنَّبات والشُّهب في مجموعة بارنار. فهذه الأجرام، مثلما رأينا، كثيرة جدّاً في مجموعتنا الشمسية، ويُمكن أن تكون كذلك حول نجم بارنار. وأيّ ارتطام مع أصغر هذه البقايا بين الكوكبية، بسرعة 36000 كم/ثا، ستكون كارثية على السفينة أو على مسابرها. بُغية تجنُّب نكبة كهذه، فطِن مُخترِعو ديدالوس إلى أنّه في لحظة الدخول في مجموعة بارنار، ستكون السفينة وكل سابر من السوابر مسبوقةً بسحابةٍ كثيفةٍ من الدخان، تُطلَق أمامها على مسافة عِدَّة كيلومترات. إذ إنَّ جزيئات هذه السُّحُب، المُنشَّطة بسرعة السفينة ذاتها، ستُدمِّر، في طريقها، كل جسم من حجم مُذنَّب، وتمنعه من الوصول إلى السفينة والسوابر التي تتعقَّبها. بطبيعة الحال يجب أن تُبدَّد هذه الغيوم، لحظة اللقاء، من خلال التفجيرات، وذلك لتوضيح الرؤية أمام أجهزة رصْد المسابِر.

لن يسمح قِصَرُ اللقاء بتحليل مُفصَّل لمجموعة بارنار. مثلاً، يُمكِن أن يُصوَّر من كلّ كوكب أحد نصفي الكُرة، أي النصف الذي يتَّجه صوب النجم لحظةَ الرصد؛ لأنَّ الآخر يغوص في الظُّلمة. هذه المحدودية لن تمنع من كشف وجود شكل للحياة على أحد الكواكب من نمط الحياة على الأرض؛ وفعلاً يُشكّل وجود الأكسجين، الذي يتمُّ اكتشافه بالتحليل الطيفي، علامةً واضحة على النشاط العضوي الحيّ على كوكبنا.

بعد عِدَّة أيّام، ستترك ديدالوس وراءها مجموعة بارنار، وتتابع سَيرها، ولن

يكون لها هدف من الآن وصاعداً بين الفضاءات بين الكوكبيّة. وسيكون حاسوبُها قد أرسل إلى الأرض مُعطيات جملة عمليات الرَّصد، والتجارب التي أُجريَت في أثناء البعثة. لكن ستلزم أيضاً سِتُّ سنوات قبل أن تُلتقَط الموجاتُ الكهرمغناطيسية التي تنقل هذه المُعطيات، إلى الأرض. وهكذا، بعد ستَّة وخمسين عاماً بعد الانطلاق، "سيزور" سُكّان الأرض مجموعة خارج المجموعة الشمسيّة.

ثمة احتمالٌ ضئيل أن يكون المبعوثُ الأوَّل من نوعنا البشري المُسرِع إلى النجوم، شبيهَ ديدالوس؛ فثمّة اليوم أفكار أكثر أهميّةً، كما سوف نرى. كانت أهميّة هذا البرنامج في بيانه، بالاستناد إلى الأرقام، أنَّ رحلة بين النجوم (من دون طاقم، بالتأكيد) ممكنة مع تقنيات سَيُفكَّر فيها في القرن القادم: مهارات اصطناعية مُتقدِّمة، واندماج حراري نوويّ عبر حصر عطاليّ، وقدرة على استخلاص الهليوم-3 من الغلاف الجوِّي للمشتري. من بين هذه العوامل الأساسية الثلاثة لبرنامج ديدالوس، يبدو ثالثها بعيداً عن مُتناوَلنا اليوم؛ إذ يفترض مُسبقاً ضبط الرحلات والأعمال بين الكوكبية، الذي مايزال نَيْله بعيداً. لكن لاشيء يعترضه من حيث المبدأ ...

المادّة المُضادّة: الأكثر فعاليّة ...

توضِّح صواريخ أُوريو وديدالوس المعروضة في القسم السابق، إلى حدٍّ مًا، كفاءات الاندماج الحراري النوويّ للطواف بين الكواكب. هذه السيرورة تُحوِّل المادّة إلى طاقة بمردود 0.5% تقريباً، ممّا يتضمَّن سُرعاتٍ طرد v للوقود من فئة 0.03 c (بضعة أجزاء من المئة من سرعة الضوء). للوصول إلى النجوم القريبة في زمنٍ معقول، تلزم سرعات طيران من فئة 0.1c. حيث تُحدِّد لنا مُعادلة الصواريخ أنَّ هذا ممكن، بشرط أن تكون كتلة الوقود M أضخم بعشرات إلى مئات المرَّات

من كتلة السفينة M. [أوريون، مع υ = 10000كم/ثا، m = 20000 طَنّ وm = 400000 طَنّ في علاقة M/m=20، بينما ديدالوس، مع m = 450 طنّاً، M = 50000 طَنّاً وسرعة أعلى υ = 360000 كم/ثا، تمتلك علاقةً أكبر M/m=110.]

السيرورة الأكثر فعالية لتحويل المادّة إلى طاقة هي تبديد الثنائي مادّة ـ مادة مُضادّة. وقد كان لمفهوم "المادّة المُضادّة" الذي اجترحه في الثلاثينيات الفيزيائي البريطاني "بول ديراك" تضميناً أُسطورياً في نظر الجمهور العريض. وفي الواقع فإنَّ لِجُسيمات المادّة المُضادّة الكتلة نفسها التي لنظيراتها من المادّة العاديّة وتخضع للقوانين الفيزيائية ذاتها؛ وبالمُقابل، فإن شحناتها الكهربائية، كخصائصها الأخرى، مُتضادّة. وهكذا فإنَّ "للبوزيترون"، وهو أوَّل جُزيء مُكتشَف للمادّة المُضادّة، شُحنة موجِبة تساوي في القيمة المُطلَقة شُحنة الألكترون، لكن بعلامة مُضادّة.

يُسبِّب اللقاءُ بين الجُسَيْمات والجُسَيْمات المُضادّة، تحطيم ذرّاتهما (والأدقّ، تحويلها إلى فوتونات)، إذ تتحوَّل كتلتهما إلى طاقة بمردود 100%. تُبيِّنُ صياغة أينشتاين المشهورة E = mc2 أنَّ تحطيم غرام واحد من المادّة المُضادّة يزوِّد مقداراً من الطاقة يساوي ما يُزوِّده اندماج 5 كيلوغرامات من البلوتونيوم، أي ما يُعادِل قنبلة هيروشيما، بقوَّة عشرين كيلوطَنّ. ويبلغ تبديد المادة ـ المادّة المُضادّة، عِدّة آلاف ضعف ما يبلغه الاندماج، وعدّة مئات آلاف ضعف ما يبلغه الاندماج الحراري النوويّ.

لم يعدَم هذا المردود الأقصى للمادّة المضادّة كمصدر للطاقة أن يُثير اهتمام مُخترِعي الصواريخ. كان أوَّل من اشتغل على هذه الفكرة، في بداية الخمسينيات، المُهندسُ الألماني "أوجين سانجير". أوَّل جسيم مضاد كان معروفاً في ذلك العصر هو البوزيترون، الذي يُمكِن الحصول عليه من خلال إدخال بعض العناصر المُشِعَّة. يولِّد تحطيم الإلكترون ـ بوزيترون فوتونَيْ غاما (γ)، بِطاقةٍ تبلغ عشرات أضعاف طاقة فوتون الضوء المرئي. كان سانجير يأمل

بأن تتمكّن هذه الفوتونات من دفْع "صاروخه الفوتوني" إلى سُرعات قريبة من سرعة الضوء. لكن للأسف، تُرسَل فوتونات التحطيم بطريقة عارضة، بنفس الاحتمال في الاتِّجاهات كُلّها. وإذ إنّها مُحايدة كهربائياً، فمن المستحيل أن تُركِّزها حقول مغناطيسية في اتِّجاه العادِم. بالإضافة إلى أنَّها لا يُمكِن أن تعكسها مرآة، على عكس الفوتونات المرئية، لأنَّ "قامتها" (طول موجتها) صغيرة إلى حدٍّ أنها تمرُّ عبر ذرَّات أيَّة مادة صلبة. لقد أمضى سانجير بقية حياته في البحث، من دون جدوى، عن وسيلة لتركيز فيض فوتونات غاما الناتجة عن تحطيم الإلكترون - بوزيترون. لأنَّ ما سيتمُّ الحصول عليه من هذه العملية بدل الصاروخ، هو بالأحرى "قنبلة فوتونيّة"، والفكرة مُهمَلة الآن.

في عام 1995، اكتشف "إيميليو سيفريه" ومُعاونوه في مُختبَر بيركلي، في كاليفورنيا، جسيماً مُضاداً ثانياً، هو البروتون المُضادّ. تحطيمه مع البروتون مُعقَّد نوعاً مّا: لا يُنتج فوتونات غاما وحسب، بل جُسَيْمات غير مُستقرّة أيضاً - البِيُونات - بعضها مشحون كهربائياً. تجعل خاصّة التحطيم بروتون - بروتون مُضادّ هذه العملية هامّة لنظام دفْع. إنَّ صاروخ سانجير الفوتوني لن يرى النور أبداً، لكنَّ صاروخاً "بيونياً" ممكن، على الأقلّ نظرياً.

يولِّد تحطيم بروتون مع بروتون مُضادّ خمسة جُسَيْمات وسطيّاً: ثلاثة بيُونات مشحونة كهربائياً (π+ وπ-)، وبيُونان مُحايدان (π^0). هـذان الأخيـران ينفصمان فوراً، خلال 10^{-16} ثانية، إلى فوتونَي غاما، والحيادية الكهربائية لهذه الجزيئات تجعلها خارج المُراقبة من خلال الحقول المغناطيسية، وبالتالي غير مُفيدة لنظام الدفع. كذلك البيونات المشحونة غير مُستقرّة، غير أنَّ مدّة حياتها أطول، 2.8×10^{-8} ثانية. تنفصم إلى نيوترينوات وميونات مشحونة μ+ وμ- (بحسب شحنة البيُّون)؛ هذه الأخيرة غير مُستقرّة أيضاً، وتنفصم بدورها إلى ألكترونات، وبوزيترونات، ونوترينوات. وأخيراً تتبدد البوزيترونات مع الألكترونات لإعطاء فوتونات γ.

هكذا يُحوِّل تحطيم البروتون - البروتون المُضادّ، الجُزيئين، في نهاية المطاف، إلى فوتونات غاما، ونيوترينوات. والنيوترينوات هي جُزيئات شبحيّة، وقليلة التفاعُل مع المادّة، وهي بالتأكيد غير قابلة للاستخدام في نظام الدَّفع. إنَّما تكمن أهمية العملية خاصّةً في إنتاج جُسَيْمات وسيطة (بيونات وميونات) مشحونة. تنبثق هذه الجُسَيْمات بسرعة عالية، تبلغ 0,9 c تقريباً، حاملةً ما يُقارب نصف طاقة التحطيم. وعلى الرغم من قِصر حياتها، يُمكِن استغلالها في دفع صاروخ يعمل على المادّة المُضادّة.

يمكننا التفكير في استخدام الطاقة الحركيّة لهذه الجسيمات المشحونة، بتركيزها في اتِّجاه العابِم من خلال حقل مغناطيسي؛ وهكذا نحصل على سرعة طرد عالية جدّاً، مقدارها 0.9c. ومع هذا، ستكون كتلة الوقود المطرودة ضعيفة بالضرورة، أي أقلّ من المادّة المُضادّة المُستخدَمة. وكما سوف نرى، لا يُمكننا الحلم بأن نستخدم إلا كمية ضئيلة جداً من المادّة المُضادّة، ممّا يعني أنَّ صواريخ صغيرة يُمكِن أن تُدفع بهذه الطريقة.

من الواضح أنَّ المادّة الأكثر فعاليةً في استخدام طاقة التحطيم في نظام الدفع هي، باختصار، الطريقة التقليدية إلى حدٍّ مّا. وهي تتكوَّن من تسخين وقود سائل وطرده من مؤخِّرة الصاروخ. وقد اقتُرِحَت عِدّة طرُق لتحويل طاقة البيونات والميونات إلى وقود سائل. لكنَّها، على نحوٍ عام، طرائق لا تخلو من التعقيد، ومشكلاتها التقنية تبقى، حتى على الورق، بعيدةً جداً عن الحلّ. والواقع أنَّ عمليات المُحاكاة الرقمية تُظهِر أنَّ نسبة مئوية ضئيلة جدّاً من طاقة التحطيم يُمكِن أن تُستخدَم في الدفع. ومن الواضح، مع ذلك، أنَّ سُرعة طرد الوقود ستكون بالتأكيد أقل من 0.5c، أي نصف سرعة الضوء. إن الواقع القاسي للمعوقات التقنية تقودنا بعيداً عن الصاروخ الفوتوني الذي حلُم به سانجير.

ينبغي ألّا تجعلنا "خيبةُ الأمل" هذه ننسى الميزات التي توفِّرها فعالية المادّة المضادّة، الخارقة بوصفها مصدراً للطاقة. والحقُّ أنَّ التحليل الرياضي

للدفع من خلال المادّة المُضادّة يكشف لنا أن هناك، لأيَّة بعثةٍ كانت، علاقة مُثلى بين كتلة الوقود M، وكتلة M السفينة M، هذه العلاقة هي حوالي خمسة. وبالمقابل، يُبيِّن التحليل نفسُه أنَّ الكمية M_a من المادّة المضادّة اللازمة لبعثة سرعتُها س تساوي جزءاً واحداً فقط من كتلة السفينة : $M_a = m\ (v/c)^2$.

تُقدَّر دلالة هذا التحليل بصورةٍ أفضل إذا طبّقناها على حالات ملموسة. الحال الأولى : إرسال شُحنة مُفيدة بوزن طَنّ إلى نجم ألفا سنتوري في أقلّ من خمسين سنة، إذ يُبيِّن تحليلنا أنَّه، من أجل بلوغ سرعة ضرورية من 0.1c، يلزم فقط أربعة أطنان من الوقود، وحوالي اثني عشر كيلوغراماً من المادّة المُضادّة ! التطبيق الثاني : بعثة من نموذج ديدالوس. مثلما رأينا في القسم السابق، مع الاندماج $D+\ {}^3He$، ستحتاج السفينة (عليها 450 طَنّاً من الحمولة المفيدة) إلى 50000 طَنّ من المادّة القابلة للاحتراق لبلوغ سرعة قدرها 0.12c. سيتمّ الحصول على الأداء نفسه مع 2200 طنّ من الوقود فقط، مُسخَّنة بوساطة تحطيم 8.5 طنّ من المادّة المُضادّة. إذاً الكسب في كتلة الوقود كبير، عامل 25. ويبدو أنَّ هذه الأرقام تدلُّ على أنَّ من الممكن إرسال بعثات بين كوكبية مع صواريخ حجمها متواضع. فكتلة الوقود التي تستخدمها صواريخ ساتورن والمكّوك الفضائي هي بالضبط 2000 طَنّ!

... والأكثر غلاءً!

يا للحسرة! إنَّ امتلاكَ عِدَّة كيلومترات من المادّة المضادّة لا يُجاوز قُدراتنا وحسب، بل توقُّعاتنا الأكثر تفاؤلاً في العقود القادمة أيضاً. صحيح أنّ المادّة، والمادّة المُضادّة، ينبغي بحسب نظرية "ديراك"، أن تكونا مُتناظرَتين، وأن تتجلّيا في كميّة متساوية في الكون. والحال أنَّ أيَّ أثر للمادة المضادّة لم يوجد، حتى اليوم، في مجموعتنا الشمسية، وفي مجرَّتنا، أو في المجرَّات النائية.

مازال "السِرُّ الخفِيّ" لهذا الغياب الملحوظ للمادة المضادّة غير موضَّح.

وقد أوحى الفيزيائي والمُنشقّ السوفييتي "آندريه زاخاروف"، في نهاية الستينيات، بأنَّ أصل اللاتناسق بين المادّة والمادّة المضادّة رُبَّما يعود إلى بداية الكون، في الأتون الأوّلي للانفجار العظيم. وفي رأيه أن الظواهر الفيزيائية، بما أنّها حدثت بدرجة حرارة 10^{27} كلفن، كان لا بُدَّ من أنها "حرمت" المادّة المضادّة من أن توجَد قليلاً، المادّة المضادّة التي كانت ستتلاشى لاحقاً؛ لأنَّ فائض المادّة الذي ينبغي أنّه نجا بعد الانفجار، وهو عبارة عن جسيم من مليار، لا بُدَّ أنه شكَّل الكون القابل للرصد اليوم. يقوم هذا الإيحاء على بعض نظريات الفيزياء المجهريّة الحديثة التي لم تُدقَّق تجريبياً؛ إذ إنَّ هيمنة المادّة في كوننا لم تجِد شرحاً وافياً بعدُ. على أيّة حال، حتى لو وُجِدت أماكن لِلمادّة المضادّة في الكون، فهي بالتأكيد أبعد كثيراً من نجوم مجرَّتنا، وهي بالتالي غير قابلة للاستخدام.

يتِمُّ إنتاج المادّة المُضادّة في المُختبَر اليوم من خلال تحويل الطاقة إلى مادّة، وهي عملية تتِمُّ بعكس التحطيم. إذاً تُبيِّن لنا صيغة آينشتاين، المكتوبة من جديد في $m = E/c^2$، أنّه يجب استهلاك كثير من الطاقة للحصول على كميّة قليلة من المادّة والمادّة المُضادّة (بكميّة متساوية طبعاً). وفي المُسرِّعات الكبرى للجزيئات، كَمُسرِّع المركز الأوروبي للبحث النووي (CERN) في جنيف، أو مُسرِّع فيرمي لاب في الولايات المُتَّحدة، يتِمُّ تسريع البروتونات إلى سُرعات قريبة من سرعة الضوء، قبل أن ترتطم بهدف مادّي. وفي لحظة هذه الارتطامات، تتجسَّد الطاقة الحركيّة للبروتونات بشكل جزئي في جسيمات، بينها عِدَّة بروتونات مُضادّة.

إنَّ فاعلية إنتاج المادّة المُضادّة اليوم ضعيفة للغاية: إذ إنَّ أقلّ من واحد بالألف من الطاقة الحركيّة للبروتونات يتحوَّل إلى بروتونات مُضادّة. والأسوأ من هذا أنَّ التقنيات الحاليّة لا تسمح بالتقاط وتخزين أكثر من حوالي بروتون مُضادّ من أصل ألف تمَّ إنتاجها. ومع مردود بهذا الضعف، ليس من المدهش أن تكون

تكلفة إنتاج البروتونات المُضادّة مرتفعة إلى حدٍّ أقصى لصناعة مادة مُضادة زهيدة جداً.

يستطيع مُسرِّع فيرمي لاب في الولايات المُتّحدة أن يُنتج حوالي 50 ملياراً من البروتونات المُضادّة في الساعة أو $3x10^{14}$ بروتون مُضادّ في السنة. ولا يُمثِّل هذا الإنتاج السنوي إلا واحد على مليار من غرام من المادّة المُضادّة، أي نانوغرام. وتبلغ تكلفة تشغيل فيرمي لاب (مع الاخذ بالحُسبان تسديد المبلَغ المستثمر في بنائه) 50 مليون دولار في السنة. من المؤكّد أنَّ أيَّ مُسرِّع اليوم ليس مُكرّساً لإنتاج البروتونات المُضادّة، ويمكننا بسهولة أن نضرب فعالية هذه العملية بمئة، لتكلفة أقلّ بعشرة أضعاف. حتى في هذه الحال المُتفائلة، قد يرتفع الإنتاج السنوي إلى حوالي جزء من مليون من الغرام (ميكروغرام) بتكلفة حوالي 10 مليون دولار. لا شكَّ في أنَّ المادّة هي الأكثر غلاءً التي يُمكن أن نتصوَّرها ! إنَّ إنتاج مليغرام واحد (واحد على ألف من الغرام) من المادّة المُضادّة اليوم يتجاوز إلى حدٍّ كبير قدرة الاقتصاد والطاقة على كوكبنا.

وحتى إن ارتفعت فعالية إنتاج المادّة المُضادّة بشكل كبير في المستقبل، فإنَّ كمية الطاقة اللازمة لصناعة أطنان من المادّة المُضادّة ستكون هائلة إلى حدّ أن إنتاجها في "مصانع" أرضيّة سيكون مُستبعَداً. إذاً فالمنبع الوحيد القادر على التزويد بكمية طاقة مُرتفعة إلى هذا الحدّ هو الشمس. وبناءً على هذا، ينبغي أن تُركَّب ألواح شمسيّة عملاقة (تبلغ مساحة كُلٍّ منها عدّة مئات كيلومترات مربّعة)، في الفضاء، وبالأحرى على مُستوى المرِّيخ حيث إنَّ ضوء الشمس أكثر توفُّراً. ولا بُدَّ أن تُغذّي "مصانع البروتونات المُضادّة"خلال سنوات عديدة، لكي نتمكّن من الحصول على الكميّات اللازمة للأسفار بين النجوم. وبكلِماتٍ أُخرى، يجب استهلاك الطاقة الهائلة التي تُحرِّرها المادّة المُضادّة لصناعة هذه المادّة؛ إذاً نرى أنَّ المادّة المضادّة تُمثِّل، في أفضل الأحوال، وسيلة (فعَّالة لكنَّها غالية الثمن !) لاختزان الطاقة، أكثر مما تُمثِّل مصدراً طبيعياً.

صواريخ من دون صواريخ

إذاً تبدو الصواريخ "التقليدية" ومصدر طاقتها (بالإضافة إلى حمولتها المفيدة) غير قادرة حالياً على أن تفتح لنا أبواب الفضاء بين الكواكب. فمصدرا الطاقة المعروفان، وهما الاندماج والانشطار النوويّان، مُنخفِضا الفعاليّة، ممّا يتضمّن توفير كميات كبيرة من المادّة القابلة للاحتراق لا يُمكن تخيُّلها. والمصدر الأكثر فعالية، أي المادّة المُضادّة، يتطلب نسبياً القليل من المادّة القابلة للاحتراق، لكنّه يطرح مشكلة أُخرى : فمادّة المادّة المُضادّة اللازمة، حتى للبعثات الأكثر تواضُعاً، تتعدّى كثيراً قدراتنا الإنتاجية الحاليّة.

يبدو أنّ الوضع لا يبعث على الأمل، لكنّ من المعروف تماماً أن العقل البشري نادراً ما يعترف بانهزامه أمام الطبيعة. حيث إنّ الحالمين بالأسفار بين الكواكب اكتشفوا سبُلاً عديدة، لكنْ بنجاح متواضع حتى اليوم. الخاصّة المشتركة بين هذه المشاريع كافّة هي أنّها تُهمِل مفهوم الصاروخ التقليدي : إذ تُتصوَّر السفن الفضائية من دون وقود، ولا مادة قابلة للاحتراق على متنها، وحتى من دون مُحرِّك! وبعبارات أُخرى، الأمر مُتَّصِل بـ"صواريخ من دون صواريخ".

يبدو أنّ أوّل من تصوَّر دفعاً فضائياً من دون صاروخ هما رائدا علم الملاحة الفضائية السوفييتيّان قسطنطين تسيولكوفسكي وفريديريك تساندر. ففي العشرينيات أوحَيا بأنّ ضغط ضوء الشمس يُمكِن أن يدفع شراعاً خفيفاً بما يكفي، شراعاً مُمتدّاً بما يسمح برحلاتٍ داخل المجموعة الشمسية. وفي نهاية الخمسينيات، نشر الفيزيائي الاميركي "ريشار غاروين"، أوّل مقالة تقنيّة حول مفهوم "الشراع الشمسي". يُشير فيه إلى أنّ هذه الطريقة تعرض ميزة تكلفة زهيدة بالقياس إلى الطرائق الأخرى عن الدَّفع، المدروسة حينذاك.

لقد أوضح غاروين النتائج القياسيّة لهذه التقنية من خلال أمثلة محسوسة، وأكثرها إدهاشاً يتعلّق برحلة ذهاب ـ إياب إلى كوكب الزهرة مُدّتها شهر ونصف.

بعد عِدّة سنوات، استخدم آرثر س. كلارك هذه الفكرة في قصّته ريح الشمس، واصفاً سباقَ أشرعةٍ شمسية باتجاه القمر.

أمّا الفكرة الأساسية للأشرعة الشمسية فبسيطة نوعاً مّا، وتُذكِّر بخاصّة ضوئية معروفة منذ زمنٍ طويل. حيث إنَّ جسيمات الضوء، الفوتونات، تقوم بالضغط على كُلّ مساحة تواجهها في طريقها. ومن المؤكّد أنَّ هذا الضغط ضعيفٌ للغاية، لكنَّه حين يُطبَّق بعدد كبير من الفوتونات على شراع عريضٍ كفايةً، يُمكن أن يخلُق قوّة كبيرة، قادرة على دفع الشراع بسُرعات عالية. ويجدر التشديد هنا على الاختلاف بين "نسمة" فوتونات الشمس التي تهبُّ دوماً في اتّجاه الإشعاع بكثافة ثابتة، و"ريح" الجسيمات المشحونة (ألكترونات، وبروتونات، ونُوى ذرّية)، التي يُمكن أن تختلف كثافتها اختلافاً كبيراً (تحديداً في لحظة الثوران الشمسي، مثلما رأينا في الفصل الأوّل). فضغط ريح الجسيمات الشمسية أقلّ بكثير من ضغط الفوتونات التي يُرسلها نجمُنا.

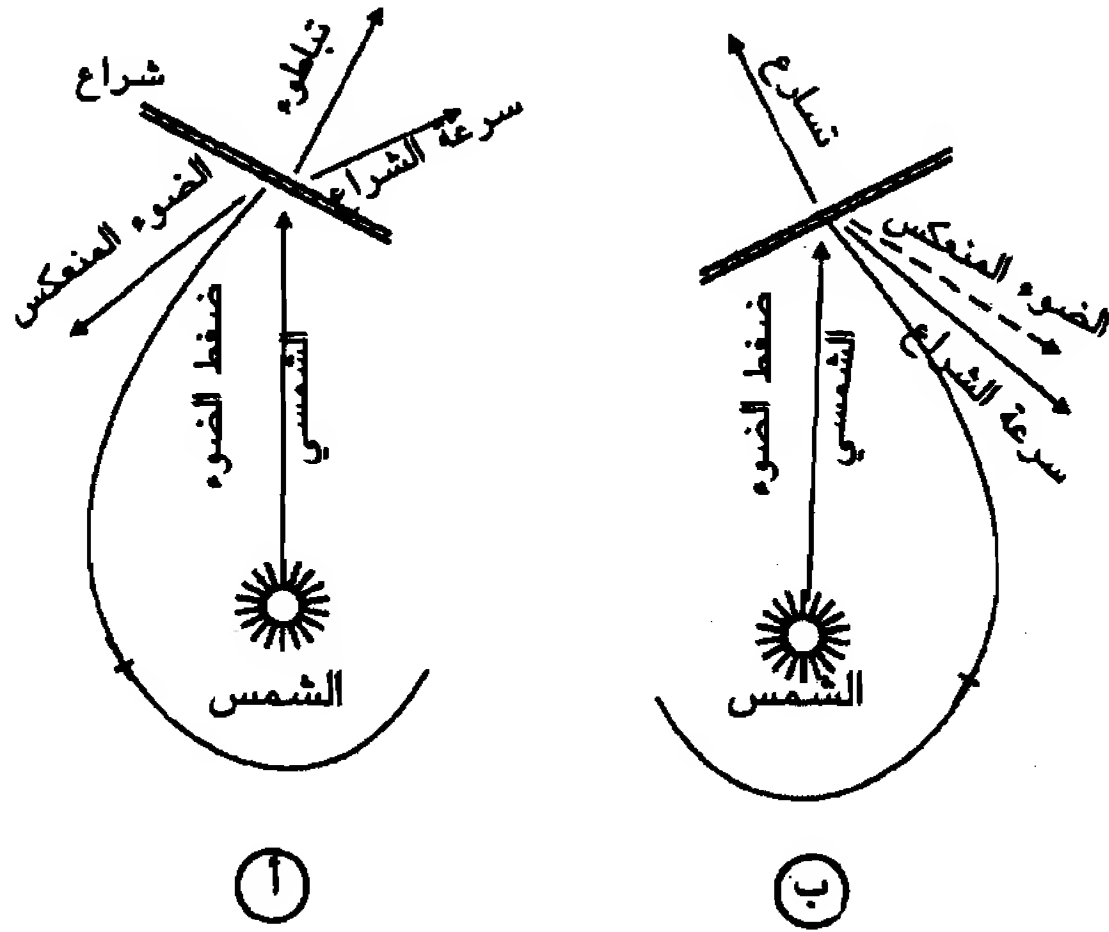
يجب أن يكون سطح الشراع عاكساً ما أمكن، ليس فقط لكي يتجنّب ارتفاعاً في درجة الحرارة بامتصاص الطاقة الضوئية، بل أيضاً ليكسب ضغطاً أقصى من الفوتونات "المتواثبة". تُشكِّل ورقة من الفضّة عاكساً مثالياً لكنّه سيكون باهظ الثمن. ويبدو أنَّ المادة الواعدة أكثر هي الألومنيوم الذي تبلغ قدرته العاكسة نسبة 90% (تسعة فوتونات عارضة من أصل عشرة واثبة). ومن جانب آخر، بديهي أنَّ الشراع يجب أن يكون رقيقاً ما أمكن، وإلا فإنَّ كتلته ستكون أكبر من أن تستطيع الفوتونات "دفعها" بطريقةٍ فعّالة. وفي الواقع فكلّما كانت وحدة كتلة مساحة الشراع ضعيفة، كان التسارع الناجم (قياساً إلى المساحة الإجمالية نفسها) عالياً. تتضمّن هذه التقديرات أبنيةً "رقيقة" بمساحة كبيرة جدّاً وبسماكة قليلة إلى حدٍّ أقصى.

تبدو فكرة الملاحة داخل المجموعة الشمسية بوساطة شراع فكرةً مُفارقة، نظراً لأنَّ الفوتونات تُحدِث ضغطها دوماً في الاتّجاه الإشعاعيّ. وفي وسعنا

التفكير في أنَّ وسيلة التنقُّل هذه لا تسمح لنا إلا بالابتعاد عن الشمس. لكن لا دور لها في هذا أبداً. فمثلما يمكن أن نُبحر على سطح البحر مع ريح تهبُّ دوماً في الاتِّجاه نفسه، كذلك يُمكننا الملاحة في المجموعة الشمسية بفضل "الريح" الإشعاعيّة لفوتونات الشمس. وفي الحالين كلتيهما، توجيه الشراع هو الذي يسمح بتغيير الاتِّجاه، لكنَّ الظاهرة الفيزيائية التي تسمح بالتوجُّه أو إمكانية إعادة "امتطاء" الريح ليست هي نفسها. ففي البحر، مقاومة صالِب السفينة في التنقُّل الجانبي هي التي تلعبُ الدور الحاسم؛ أمّا في الفضاء، فملاحة الشراع الشمسي تستخدم خاصّية معروفة جيِّداً من بين خواصّ حقل الجانبية، حيث تعتمد سرعة الجسم في المدار حول الشمس على بعده عن الشمس؛ ويؤدّي تغيير هذه السرعة إلى تغيير المدار. ولكي ينتقل الجسم باتّجاه داخل المجموعة الشمسية، عليه أن يُخفِّف سُرعته. يُمكننا إذاً، بحسب توجُّه الشراع، كبحه على مداره والإقتراب هكذا من الشمس، أو تسريعه والابتعاد عنها (الشكل 6.2)

اكتشفت وكالة نازا هذه الأفكار في السبعينيات، واكتشفها تحديداً فريق "مُختبَر الدفع" في كاليفورنيا. وقد حُلّت على الورق، بصورة كافية، عِدّة مشكلاتٍ تقنيّة تتّصِل باختيار المواد الملائمة، ونشر الشراع في الفضاء، واحتمال تمزُّقه نتيجة ارتطامه بالنيازك، إلخ. كانت البرامج المدروسة تتعلّق ببعثات إلى سطح المرِّيخ، والزهرة، أو إلى مُذنَّب أو نيزك، مُدّتها عِدة سنوات. وفي الأحوال كُلِّها، كانت أبعاد الشراع مُدهشة، تبلغ عِدّة مئات من الأمتار، بينما لا تتعدّى سماكته عِدّة ميكرومترات. كان وزنه الإجمالي عِدّة أطنان، بمُعدَّل ثلاثة أو أربعة أضعاف الوقود المُفيد الذي تستطيع أن تحمله.

كم سيكون فتّاناً مشهدُ شراعٍ شمسي منبسِط، يُعادل مساحة الساحة الحمراء، لكنه ليس أكثر وزناً من فيل، تدفعه "نسمة" الفوتونات الشمسية صوب موعدٍ مع مُذنَّب هالي ... ويا له من حلٍّ رشيق لمشكلات الأسفار بين الكواكب، يتجنَّب تبذير كميات هائلة من المادّة القابلة للاحتراق أو من الوقود!



الشكل 2-6: مبدأ الملاحة في الشراع الشمسي داخل المجموعة الشمسية. (أ) ضغط الضوء الشمسي يكبح الشراع على مساره؛ مع قليل من الطاقة الحركية، فهذه تنتقل باتِّجاه داخل المجموعة الشمسية. (ب) ضغط الضوء الشمسي يُسرِّع الشراع، الذي يتنقل باتِّجاه خارج المجموعة الشمسية.

للأسف، هذه المشاريع لم تتلقَّ الضوء الأخضر من النازا، حتى على مستوى النماذج الأوَّلية التجريبية. وهكذا، ليست مواصفات الأشرعة الشمسية الحقيقية معروفة كما ينبغي اليوم؛ مع أنَّها تبدو هامّةً بما يكفي للأسفار داخل المجموعة الشمسية.

أشرعة بين قمَرية

للوهلة الأولى، لا تبدو هذه الطريقة قابلة للتطبيق على أسفارٍ بين قمريّة لأنَّ كثافة ضوء الشمس تنخفض مع مربَّع المسافة. فعلى مسافة بلوتو، تكون هذه الكثافة أضعف 1600 مرّة مما هي عليه على مستوى مدار الأرض، وتغدو بلا أهمية في الفضاء بين النجميّ.

ومع ذلك، ليست هذه الصعوبة عصيّة على الحلّ. إذ وفّر اختراع أشعة ليزر سنة 1960، إمكانية حُزَم الضوء "المُترابطة"، القادرة على الانتشار على مسافات طويلة من دون أن تتشتّت أو تفقد كثافة كبيرة. وفي سنة 1962، أوحى "روبير فوروورد"، المُهندس في مُختبَرات هيغز حيث طُوِّرت أشعة ليزر، بأنّ شراعاً بينَ نجميّ يمكِن أن يُدفَع إلى النجوم الأكثر قُرباً، وذلك بأشعّة ليزر شديدة القوّة تُغذّيها الطاقة الشمسية. ومن المحتمَل أن يكون "فوروورد"، أفضل مُتخصّص عالمي في الدّفع بين النجمي، قد درس أغلب المُشكلات المتعلّقة بهذه الفكرة واقترح حلولاً أصيلةً في غالب الأحيان.

إن مزايا وعيوب الشراع بين النجمي موضّحة جيّداً في وصف مراحل بعثة من نموذج ديدالوس (رحلة ذهاب غير مأهولة صوب نجم قريب خلال أقلّ من خمسين سنة بحمولة مفيدة مقدارها 450 طَنّ). سيكون قطر الشراع 30 كيلومتراً (تقريباً بمساحة الحوض الباريسي)، لكنّه يزِن حوالي 30 طَنّاً فقط، ولن تتعدّى سماكته 16 نانومتراً (16 من مليار من المتر، أي سماكة عِدّة ذرّات مُتجاوِرة!). ستلزم استطاعته عِدّة تيراواط، أي ما يُعادل استطاعة حضارتنا، لتسريعها إلى سرعة 60000 كم/ثا (0.2 c) بعد حوالي ثلاثين سنة. ستُسحب هذه الاستطاعة من الشمس نفسها، التي ستُغذّي طاقتُها بطاريّة تُركّب عليها أجهزة بثّ ليزرية. ستكون هذه الباثّات في مدار حول عُطارد، ليس فقط للاستفادة من الكثافة العالية لضوء الشمس، بل لكي تُثبّتها قوّة جاذبية عُطارد في مكانها أيضاً. وفي الواقع، ستتناسب قوّة الحزمة المبثوثة مع اندفاع الصواريخ وفق مبدأ الفعل - ردّ الفعل، إذا لم يجذبها جسمٌ صلب. بعد ساعتين ستتجمّع الحُزم في اتّجاه عدَسة قطرها 1000 كيلومتر، واقعة في مكانٍ مّا بين عُطارد وأورانوس. وستكون العدسة مُكوّنة من حلقات موحّدة المركز من ورق بلاستيكي رقيق جداً، وعلى الرغم من بنيته الدقيقة، سيتعدّى وزنه 500000 طنّ. وعدسة من هذا الحجم قادرة على إرسال حزمة ليزرية متراصّة بشكل كامل، من دون أي نشان، حتى مسافة حوالي أربعين سنة ضوئية. والسفينة التي تدفعها هذه الحزمة

من الضوء الأزرق - الأخضر (أطوال موجة مثالية لهذا النوع من البعثات)، ستبلغ سرعة 20% من سرعة الضوء، مما سيسمح لها بالوصول إلى المجموعات النجمية في أقل من نصف قرن.

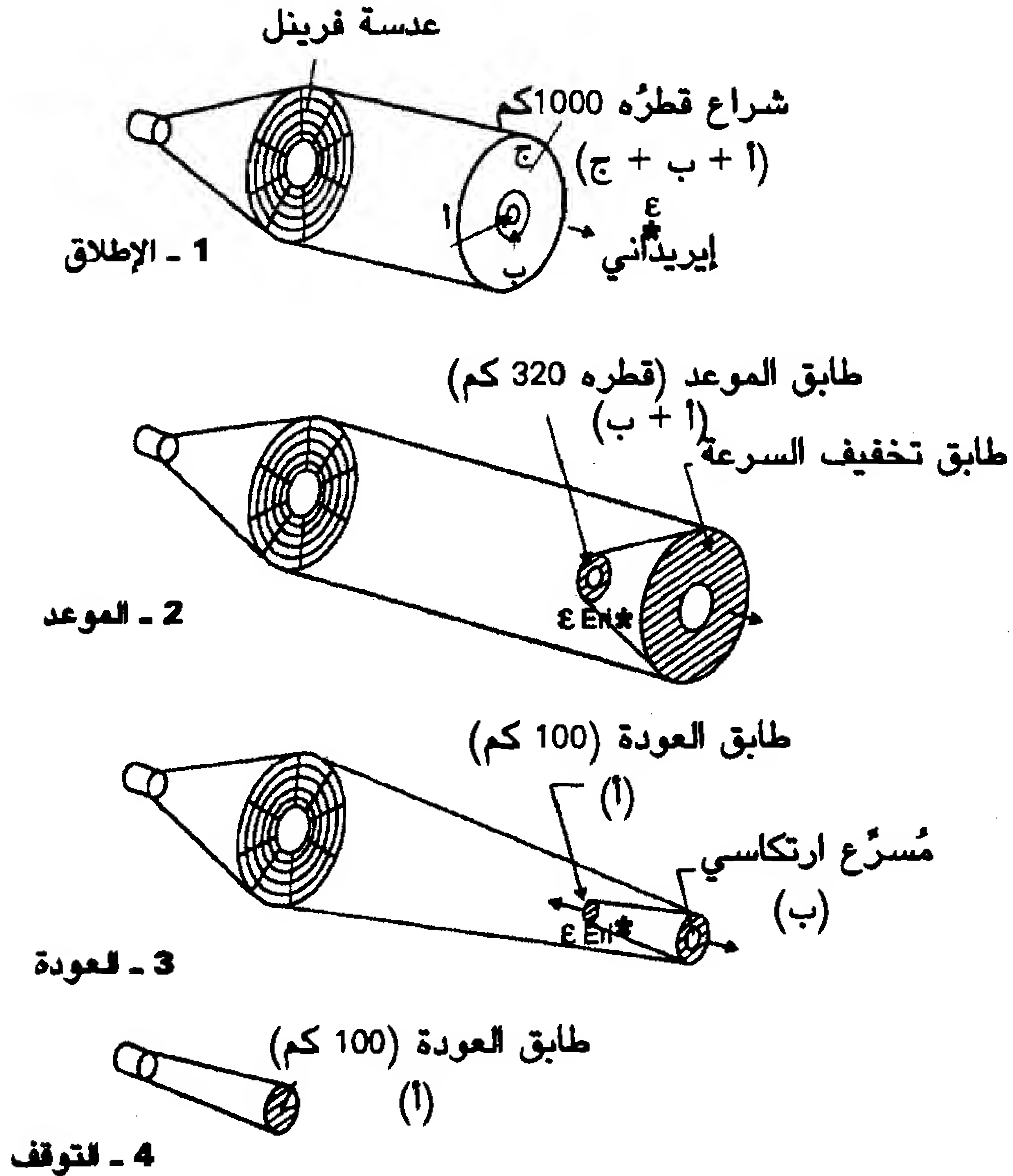
يتطلّب هذا النمط من البعثات، بالتأكيد، ضبط الأبنية الضخمة في الفضاء بين الكواكب. ولا يتعلّق الأمر، مع ذلك، باستنتاج على مستوى عالٍ للتقنيات المضبوطة (نظرياً!) وهذا لا يتضمّن تقنياتٍ جديدة. حيث يُبيِّن مشروع الشراع بين النجمي، كمشروعَي أُوريون وديدالوس، أنَّ بعثةً إلى نجمٍ قريب في مُدّة زمنية من عِدّة عقود ممكنة التحقيق تقنياً.

ليس ينبغي مع ذلك أن نستخِفّ بتكلفة مشروعٍ كهذا تبدو مرتفعة تقريباً ارتفاع تكلفة إنتاج المادّة المُضادّة. فالتكلفة الحاليّة لإنتاج الطاقة من خلال الخلايا الفلطائية (التي تُنتج الكهرباء من أشعة الشمس) بِمعدّل 10000 فرنك (200 دولار) لكل كيلوواط. واليوم ستكلّف التيراواط اللازمة لهذا النوع من البعثات عدّة مئات من مليارات الدولارات. ولن يكون ممكناً بلوغ هذا الهدف إلا بعد عِدّة قرون.

يبدو أنَّ هذه الطريقة لن تسمح برحلات ذهاب - إياب إلى النجوم. فعلى عكس الشراع الشمسي، لا يُمكننا كبح شراع بين نجمي بتغيير اتّجاهه لأنّ الشراع ليس في مدارٍ حول الشمس (في المصطلح الفيزيائي، ليس لسرعته إلا مُكوِّن إشعاعي وليس مُكوِّناً تماسّياً). لم يُحقِّق فوروورد إمكانية استخدام السفينة الليزرية نفسها لكبح الشراع وإعادته إلى محطّة انطلاقه، إلا سنة 1982، أي بعد عشرين سنة من اقتراحهِ فكرةَ الدفع من خلال شراع بين نجمي. فكرته في غاية البساطة (على الأقلّ على الورق!)، وتستحقّ أن نحكيها هنا. وهو، من جانبٍ آخر، يُطبِّقها في روايته في الخيال العلمي طيران اليعسوب، التي كتبها سنة 1984.

سيُستخدَم شراع مُتعدِّد قطره الإجمالي 1000 كيلومتر (اكبر قليلاً من

مساحة فرنسا) لإرسال بعثة مأهولة إلى مسافة 10 سنوات ضوئية عن الأرض، حيث يوجد نجما ميفاوس ح وإريداني ϵ. سيتضمَّن النظام شراعاً داخلياً قطره 100 كم (شراع أ، الجزء الذي سيقوم وحده برحلة العودة)، يُحيط بالحمولة المُفيدة؛ وشراعان موحَّدا المركز على شكل حلقات، على التوالي، بِقطر 320 كيلومتراً



الشكل 2-7. رحلة ذهاب وإياب إلى النجم القريب ε إيريداني (مسافة : 10.7سنوات ضوئية) بمساعدة شراع تدفعه سفينة ليزرية قائمة في النظام الشمسي. (مُقتبَسة من ر. فوروورد، مستقبلٌ سحريّ، 1988)

(شراع ب)، و1000 كيلومتر (شراع ج) يُحيطان بالشراع الأوَّل. سيكون جانبٌ

واحد من هذه الأشرعة عاكساً لأنَّه مغطّى بطبقة من الألومنيوم. وستكون الكتلة الإجمالية للشراع (أ + ب + ج) 80000 طَنّ، وكتلة الحمولة المُفيدة (سفينة، وطاقم، ومؤونة، وعربات كشف) 3000 طَنّ.

ولأنَّ الشراع سيُدفع بقوّة 43000 تيراواط (واحد على عشرة مليارات من القوّة الإجمالية التي تُشِعُّها الشمس)، سيتِمُّ تسريعه حتى نصف سُرعة الضوء بعد ثمانية عشر شهراً. حينئذٍ ستُطفأ السفينة الليزرية، ومع سُرعة الطواف هذه، سيصل الشراع إلى نجم ε ايريداني خلال عشرين سنة تقريباً. وعلى مسافة 0.5 سنة ضوئية من هدفه، سينفصل الشراع إلى جزأين، جزء داخلي قطرُه 320 كيلومتراً (يحتوي على الشراعين أ و ب، والحمولة المفيدة) والحلقة الخارجية (الشراع ج). سينفصل الجزء الداخلي ويدور حول نفسه، لكي يعرض سطحه العاكس باتجاه الحلقة الخارجية. وفي الوقت نفسه، سيتشكّل سطح الحلقة ج حيث يصير الجزء الداخلي في بؤرتها البصريّة.

حينئذٍ ستنعكِس السفينة الليزرية المُنشَّطة قبل عشر سنوات، لأوّل مرّة على الحلقة الخارجية الكبيرة، ثُمَّ ستُركَّز على الجزء الداخلي (الشراعان أ + ب)؛ وسيبدأ هذا الجزء بتخفيف سرعته. بعد سنة، سيتثبَّت الجزء الداخلي على ارتفاع نظام ε ايريداني، بينما تُكمل الحلقة الخارجية رحيلَها في الفضاء. وحين يتمّ اكتشاف المجموعة النجمية، سيستعِدّ الطاقم لرحلة العودة. الشراع الباقي سينقسم، من جديد إلى قسمين، الحلقة الخارجية (الشراع ب) التي تحتفظ بسطحها العاكِس مُقابل الشمس. وسيوضع في رُكنها من جديد القسم الأكثر داخليّةً من الشراع (الشراع أ) وقطره 100 كيلومتر، ليحمل السفينة والطاقم. مرّة أُخرى ستتواثب السفينة الليزرية القادمة من المجموعة الشمسية أوّلاً على الحلقة ب، ثُمَّ على الشراع الداخلي أ، الذي سيتسارع هكذا صوب الشمس. ستستغرق رحلة العودة بشكل ملموس زمن رحلة الذهاب. قبل عِدّة أشهر من الوصول، سيدور الشراع مرّة جديدة ليتلقّى مباشرةً على سطحه العاكس السفينة الليزرية

ويشرع في الكبح. وهكذا ستتمُّ البعثة "فقط" خلال خمسة وأربعين عاماً.

يمكننا أن نحلُم أمام هذه الأرقام: رحلة ذهاب ـ إياب مأهولة، باتِّجاه نجمٍ قريب في مُدّة معقولة، من دون وقود، ومادّة قابلة للاحتراق ! إنّما يُستحسَن مع ذلك أن توضع هذه الأرقام ضمن منظورٍ مُستقبليّ. فاستطاعة الطاقة اللازمة لهذا النوع من البعثات يفيض بعشرات آلاف المرّات عن الإنتاج الحالي للأرض. وحتى مع زيادة ثابتة بنسبة مئوية معيّنة في السنة، فلن نبلغ المستوى اللازم إلا بعد عِدّة قرون. وحتّى في هذه الحال، يُحتمل أن نكون أكثر فطنة إذ نستخدم هذه الاستطاعة الهائلة لإنتاج بعض أطنان المادّة المُضادّة، وتغذية صاروخ بين نجمي مُزوَّد باستقلالية معيَّنة.

وفي الواقع فإنَّ الميزة الأساسية للدفع بالشراع، التي تُميِّز هذه الطريقة عن جملة ما عداها، هي ارتهانها بـ"قاعدة الإطلاق". ونجاح البعثة يفترض صلاحية السفينة الليزرية للعمل، في المجموعة الشمسية، خلال عِدّة عقود، ووفاء في مواعيدها مع الأشرعة. فالتأخُّر عن موعدٍ واحد يَؤول بفُرَص نجاح البعثة إلى الصفر. وعندئذٍ لن يقبل بهذا النوع من بعثة محفوفة بالمخاطر سوى الروبوتات (أو روّادُ الفضاء النادرون الذين يرغبون في رؤية الأرض من جديد!)

يبدو بالمُقابل أنَّ نسخة مُصغَّرة عن هذا الدفع تملك كامل الحظوظ في أن تتحقّق في مستقبلٍ ليس بعيداً جدّاً. حيث يتَّصل الأمر ببعثةٍ استكشاف باتِّجاه النجم الأقرب ألفا سنتوري، وهي رحلةُ ذهاب مدّتها حوالي عشرين سنة. وميزتها الأساسية هي تخفيض قدرة الطاقة والكتلة المُتضمَّنة إلى مستويات ضعيفة جداً. هذا المشروع يُراهن كثيراً على التقدُّم المستمِرّ لمنمنمات الدارات المتكاملة: لن تتعدّى الحمولة النافعة للبعثة 4 غرامات! ثمّة جِدّةٌ أخرى، هي أنَّ حُزمة من المويجات سَتدفَع الشراع، وهذا شكل كهرمغناطيسي من الطاقة نعرف كيف نُنتجه ونُحوِّله بفعالية عالية. بالقياس إلى الضوء المرئي، تُمثِّل المويجات فرقَين هامَّين في الجُهد. إذ تبدأ حُزماتها بالتباعد في وقت أبكر بكثير، مما يعني أنَّ على

الشراع أن يبلغ سرعته القصوى قريباً نوعاً مّا من الباعث؛ وهذا يتضمَّن تسارُعاً قوياً جدّاً، ومن ثَمَّ لزوم كتلة مُخفَّضة ما أمكن. ومن جانبٍ آخر، يُمكن أن يُثقَب الشراع، مما يسمح بتخفيض كبير في وزنه. تقوم هذه الإمكانية التي أوحى بها فريمان دايسون سنة 1983، على خاصة تموُّجيّة للضوء معروفة جيِّداً: لا تستطيع الفوتونات المرور عبر شبَك ثقوبه أصغر من طول موجتها. هذه الخاصية هي التي تسمح للفوتونات المرئيّة بأن تعكِسها مرآة، على عكس الفوتونات التي تعبرها. وللمويجات أطوال موجة من طبيعة الميكرومتر (جزء من مليون من المتر)، مما يتضمَّن أن الشراع يُمكن أن يكون مليئاً بالثقوب من هذا الحجم، ومن ثَمَّ تخفيف كبير للوزن.

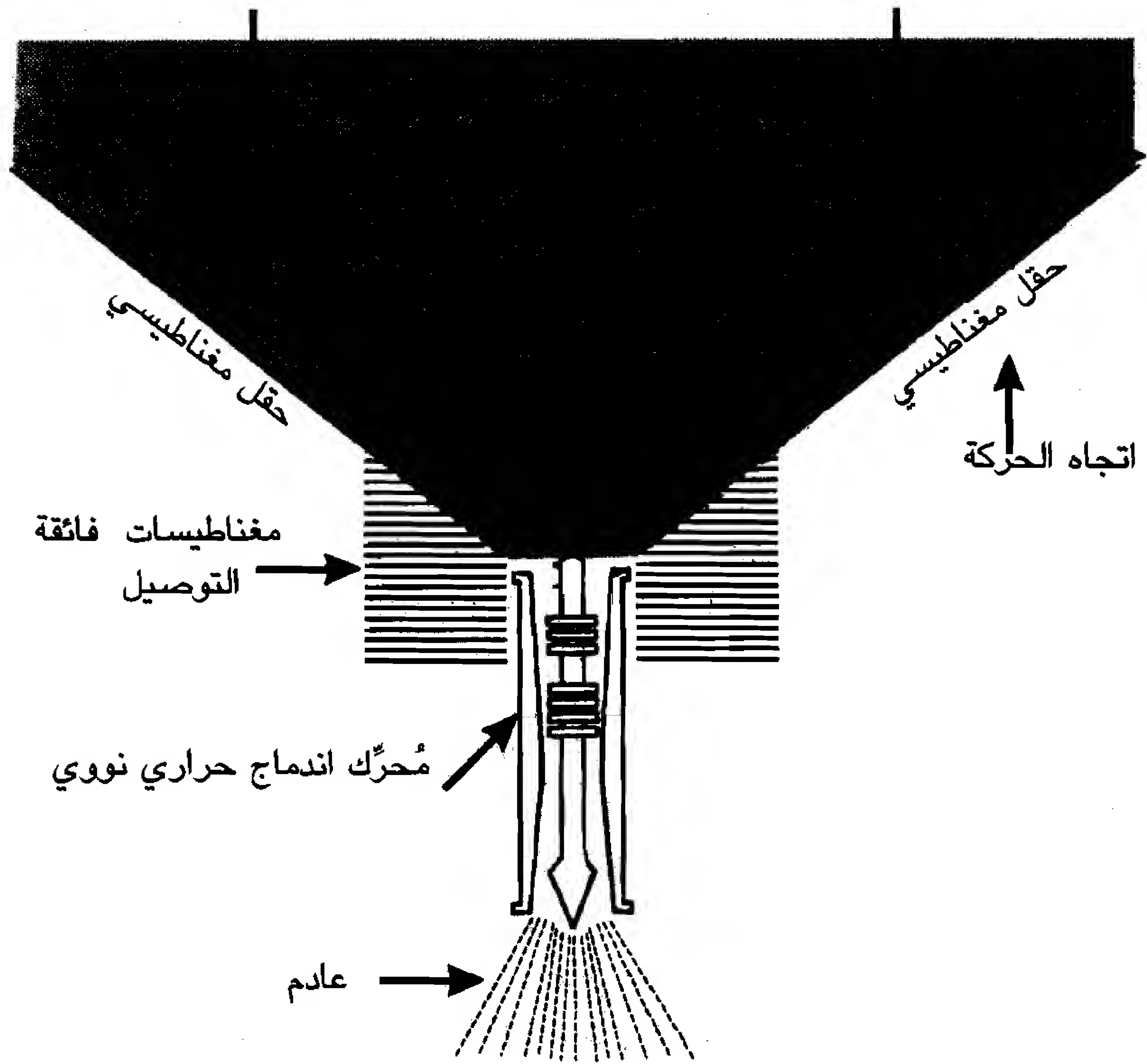
على قاعدة هذه الأفكار، اقترح فورورد مشروع ستارفيسب، الذي يستوحي اسمُه المظهرَ الناعم للشراع: نسيج عنكبوت قطره كيلومتر، ووزنه 16 غراماً فقط! أمّا الغرامات الأربعة للدارات الصغرى "الذكيّة"، فستوزَّع على طول أسلاك الشراع شديدة الدقّة (وهذا تحدٍّ لسحرَة النمنمة !). هذه السفينة المُصغّرة بوزن 20 غراماً ستدفعها حُزمٌ من مويجات من 10 جيغاواط في مدارٍ حول الأرض، وتُغذّيها الطاقة الشمسيّة. وإذ يتحمَّل المسبار تسارعاً ثابتاً مقداره 115ج (حوالي مئة ضعف الثقالة على مستوى الأرض)، سيبلغ سرعة 60000 كيلومتر في الثانية خلال عدّة أيام فقط. وهكذا يمكنه أن يصل إلى ألفا سنتوري خلال حوالي عشرين سنة، وينقل إلى الأرض المعلومات المُجمَّعة خلال عدّة ساعات من لقائه بجارنا الكونيّ ...

رامجيت، الصاروخ التضاغطي الأخير (رامجيت)

في بداية الستينيات، أثار مفهوم سفينة فضائية "عجائبية" موجة من الحماسة في أوساط الحالمين بالأسفار بين النجوم. فقد تخيَّلوا سفينةً قادرةً على التسارُع باستمرار، من دون أن يكون على متنها مخزونٍ من المادة القابلة للاحتراق

والوقود، تستطيع الوصول حتى إلى المجرّات الأكثر ابتعاداً خلال مُدّة حياة طاقمها! هذه الفكرة المجنونة في الظاهر، والمحتمل جداً أن تكون غير القابلة للتحقيق، هي فكرة التي هزّت عالَم الملاحة الفضائية، تُعرَّف باسم "رامجيت".

في عام 1960، نشر "روبير بوسارد" الذي كان يعمل حينذاك في مُختبَر لوس آلاموس المقالة التي أطلقت من جديد أحلام الأسفار "السريعة" بين النجوم، وأسعدت مؤلِّفي الخيال العلمي. لقد تصوَّر بوسارد، الذي استلهم عمل مُحرِّك الطيَّارات النفّاثة، سفينة تُجمِّع مادّتها القابلة للاحتراق في طريقها. والواقع أنَّ الفضاء بين الكواكب ليس فارغاً تماماً، لأنّه مليء بغازٍ رقيق مكوَّن بشكل أساسي من الهيدروجين. وقد تتمكّن السفينة من تجميع هذا الهيدروجين وحرقه



الشكل 2-8 إيضاح لِمبدأ رامجيت.

في مُحرِّك اندماج حراري نوويّ، مُستخدِمةً الطاقة المُحصَّلة لتسريع نواتج الاحتراق المطرودة. من دون أن يُجري بوسارد دراسة مُفصَّلة، قدَّر بشكل تقريبي مواصفات سفينة كهذه.

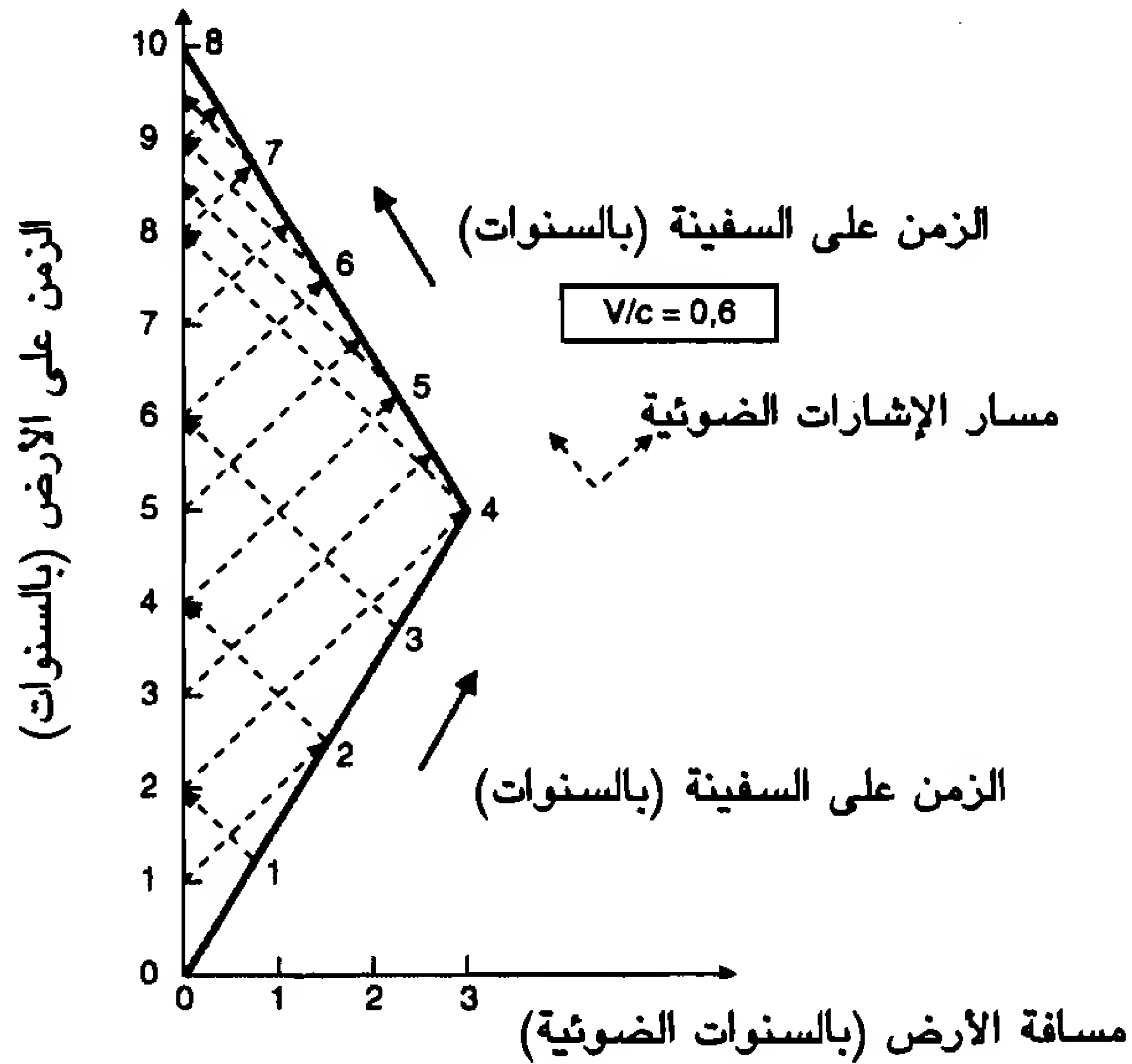
وإذ أخذ في حُسبانه كثافة الوسط بين النجمي، أي حوالي بروتون واحد في كل سنتيمتر مُكعَّب، وافترض أنَّ المُفاعِل سيحرق الهيدروجين بفعالية 100%، وجد أنّ سفينة من 1000 طَنّ تتمكّن من التسارع حتى 1 ج مادامت تُصادف مادّة قابلة للاحتراق في طريقها. كذلك تستطيع، مع سرعة ضعيفة بدئية بِمعدَّل 10 كيلومتر/ثانية، أن تبلغ سرعة 0.9c (270000 كيلومترات/ثانية) بعد سنة، وتستمر في تسارُعها بالغةً 0.99 c ثُمَّ 0.999 c، وهكذا دواليك...

مع سُرعات مُرتفعة بهذا القدْر، ينبغي أن تؤخذ في الحُسبان آثار النسبية الآينشتاينية. إذ تمّت مراجعة هذه النظرية، منذ أن صاغها آينشتاين سنة 1905، ألف مرّة في المُختبَر. ومع هذا، ماتزال نتائجها تُدهِشنا، لأنَّها بعيدة جداً عن تجربتنا اليومية. وبحسب هذه النظرية، في الموضع نفسه، يمضي زمنُ نظامٍ مُتحرِّك بأبطأ مما يمضي زمن نظام ساكن. إنَّ استطالة الزمن هذه من الأهميّة بمكان، ولاسيَّما وأنّ سرعة المُتحرِّك عالية، وتبلغ قِيَماً مُذهلة حين تصل هذه السرعة إلى سُرعةً قريبة جداً من سرعة الضوء. فعلى سبيل المثال، يمضي الزمن بسرعة أقلّ مرَّتين بالنسبة لصاروخ يتنقل بسرعة 260000 كيلومتر/ثانية (0.86 c)، وعشر مرّات أقلّ سرعةً حين تكون سرعته 0.995 c، ومئة مرَّة أقل سرعةً حين تكون سرعته 0.99995 c. لقد هيأ هذا التأثير المُدهِش عِدّة مُفارقات أشهرها مُفارقة "التوأمين"، المُوضَّحة في الشكل 9.2. ولم يُسبِّب أيُّ مظهر لنظرية فيزيائية هذا القدر من عدم مصداقية الجمهور وافتتانه خلال القرن العشرين.

في عام 1963، أوضح عالِم الفلك الأميركي "كارل ساغان"، المواصفات النظرية لسفينة قادرة على التسارُع باستمرار حتى 1 ج. ستصل السفينة خلال

ثلاث سنوات (وهذا زمن تمَّ قياسه على متنها)، إلى مجموعة ألفا سنتوري، التي يبعد عن الأرض مسافة 4,4 سنة ضوئية. وبعد 11 سنة، ستصل إلى كوكبة نجوم الثريّا، على مسافة 400 سنة ضوئية، على حين أنَّها بعد تسع سنوات (أي عشرين سنة بعد انطلاقها) ستلتحق بمركز مجرَّتنا، على مسافة 30000 سنة ضوئية. وإذ تتسارع بشكلٍ دائم، ستُضيف عشر سنوات أُخرى للوصول إلى مجرَّة آندروميدا، على مسافة 2000000 سنة ضوئية من الأرض. وأخيراً، ستكون السفينة، بعد 15 عاماً (وبعد 45 عاماً من انطلاقها) قد وصلت إلى المجرَّات الأكثر بُعداً، على تخوم الكون الذي يُمكِن رصدُه. طبعاً ستكون مليارات من السنين قد مضت على الأرض، التي ستكون قد غدت غير مأهولة منذ زمنٍ بعيد (إثْر موت الشمس، انظر الفصل الثالث). لقد ظهرت هذه الاستنتاجات المُدهشة، المستندة إلى الفيزياء النسبية، سنة 1966 في الكتاب الرائع وعنوانه *الحياة الذكية في الكون*، بتوقيع كلٍّ من "كارل ساغان"، والفيزيائي الروسي "يوسف شكلوفسكي". بين عشيّة وضُحاها، غدا مفهوم "رامجيت" مُرادفاً لـ "تحليق بين النجوم" وسُرعان ما استخدمه أيضاً كُتّاب الخيال العلمي. ومن المحتمل أن تكون القصة الأشهر هي "*ساعةُ الصِّفْر*" التي كتبها "بُول آندرسون" سنة 1970. فبصورة مُفاجئة يفقد الرامجيت "ليونورا كريستين" "مبطّئ" سُرعته إثر تلاقيه مع سحابة غُبار بين نجميّة. وهكذا يتسارع باستمرار عبر الفضاء، وتقترب سرعته شيئاً فشيئاً من سرعة الضوء. وبسبب التراخي النسبي الهائل للزمن، يجد طاقم السفينة أنّه "مقذوف" إلى مسافة مليارات السنين في المستقبل، وكذلك إلى تفكُّك الكون وموته...

فكرة رامجيت الأساسية بسيطة إلى حدٍّ مّا: كلمّا مضت السفينة بسرعة، كانت كمية الهيدروجين التي تُصادفها في الثانية أكبر (تماماً مثلما نتبلَّل حين نركض تحت المطر أكثر ممّا نتبلل حين نمشي، لأنّنا نقطع طريقَ عددٍ أكبر من القطرات خلال وحدة زمنية في حال الركض). ومع تعاظُمِ المادة القابلة للاحتراق، الجاهزة في كلّ ثانية، يزداد إنتاج الطاقة، وبالتالي تزيد السفينة سرعتها.



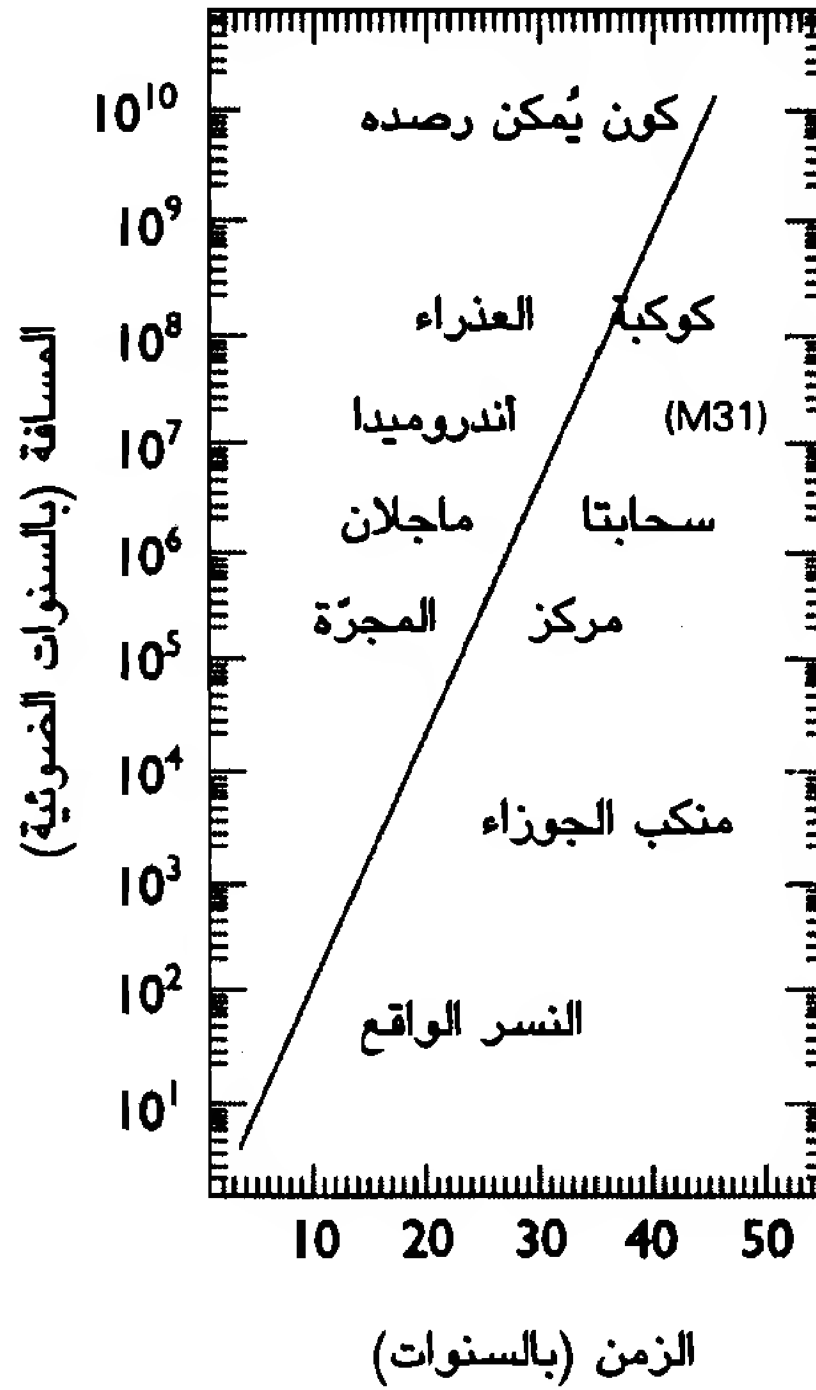
الشكل 2-9. إيضاح "لمُفارقة التوأمين". يُمثل الشكل مسار سفينة في المكان ـ الزمان (الخطّ العريض) ومسار الراصد على الأرض في الزمن (الخطّ العمودي). تنطلق السفينة بسرعة 0.6 c (180000 كيلومتر/في الثانية) خلال 4 سنوات (بحسب الساعة الموجودة في السفينة) أو 5 سنوات (بحسب الساعة على الأرض). هكذا تقطع مسافة 3 سنوات ضوئية، قبل أن تستأنف طريق العودة، التي تستغرق مدّة الذهاب نفسَها.

المُراقب (الراصد) على الأرض والمراقب على متن السفينة يتبادلان إرسال الإشارات الضوئية كلّ سنة (بحسب ساعاتهما الخاصّة). ومع حساب زيادة مسافتهما المُتبادَلة، يستقبلان الإشارات الأولى كل سنتين بعد انطلاق السفينة، والثانية بعد سنتين أيضاً (ودائماً بحسب ساعة كُلٍّ منهما). يتم الاحتفاظ بانتظام إرسال الإشارات لحظة العودة، لكنَّ تغيير الاتّجاه يقود إلى مسافة أقصر بين استقبال إشارتين متواليتين. وهكذا، طيلة رحلة الذهاب، تستقبل السفينة إشارتين فقط، بينما تستقبل ثماني إشارات في رحلة العودة (في آخر لحظة الوصول). حتى لو تبادل الراصدان الإشارات وفق الإيقاع ذاته، يُبيّن الشكل أنَّ السفينة تستقبل منها عشراً، لكنَّ المراقب على الأرض لا يستقبل إلا ثماني إشارات: سيستنتج أنَّ 8 سنوات مضت على السفينة مقابل عشر سنوات على الأرض؛ إذ يمضي الزمن، بالنسبة إليها أسرع بـ 1.25 مرَة. تغدو هذه الأرقام أكثر إدهاشاً بكثير في حال السرعات القريبة من c (مُقتبَسة من ي. ماللوف، و ي. ماتلوف، .... 1989)

سُرعان ما بيَّن التحليل المُفصَّل لرامجيت أن المفهوم أجمل من أن يكون حقيقياً. لأنَّ المشكلات الجوهرية التي يُثيرها خارقة بكلّ بساطة؛ فبالقياس إلى أحوالٍ أخرى، لا تبدو الأسفارُ بين النجوم، المدروسة حتى اليوم، أكثر صعوبةً من رحلة مأهولة إلى سطح المرِّيخ حالياً ...

على رامجيت، لكي تتسارع باستمرار إلى 1ج، أن تُجمّع الهيدروجين على مساحة عِدّة عشرات آلاف من الكيلومترات المُربَّعة من حولها. ونظراً لاستبعاد "بوسارد" وجود "شرَّاق" صلب بهذا الحجم، اقترح حقلاً مغناطيسياً عملاقاً (أبعاده كأبعاد الأرض!) سيتمّ تركيز الهيدروجين في ماسورة الدخول. تقوم هذه الفكرة على افتراض أنَّ الوسط بين النجوم مؤيَّن، لأنَّ الجُزئيات المشحونة كهربائياً هي وحدها التي تتأثَّر بالحقل المغناطيسي. ومع ذلك، معظم المحيط بين النجمي يوجد على شكل نرَّات وجُزيئات مُحايدة كهربائياً، وهي ليست مُتأثرة بالحقول المغناطيسية؛ فقط بعض المناطق المجاورة للكواكب الحارّة، مؤيَّنة من خلال الإشعاع النجمي الذي يُحطِّم الروابط الذريّة. بُغية تجاوز هذه العقبة الأولى، اقترح مُهندِسو رامجيت أنَّ في إمكانِ حُزمةٍ ليزرية قويّة أن تؤيِّن الوسط بين النجوم على امتداد عشرات آلاف الكيلومترات فوق السفينة. الصعوبة الثانية : من أجل شفط جزيئات منطقة بهذا الاتِّساع، تلزم حقول مغناطيسية هائلة، هائلة إلى حدٍّ تفجير حتى المغانط الأكثر قوَّةً. فمع مغانط الموصِلات الفائقة الأكثر استطاعةً المتصوَّرة حالياً (تنتج حقلاً مغناطيسياً من 1000 تِسلا)، سيلتقط جُزيء واحد فقط...

ومن جهةٍ أُخرى، فإن اندماج الهيدروجين هو تفاعُل شديد البطء. ولئن سمح للشمس بأن تُضيء خلال مليارات السنين، فهو لا يستطيع، في أيّة حال من الأحوال، أن يُغذِّي مُحرِّك صاروخ. ينبغي بالأحرى استعمال الدوتوريوم ذي التفاعُلات السريعة جدّاً (لهذا السبب يُستعمل في برامج الاندماج الحراري النووي، الانفجاري أو المضبوط). والحال أنَّ الدوتوريوم مئة ألف مرَّة أقلّ وفرةً



الشكل 2-10. مواصفات نظريّة لسفينة بين نجميّة قادرة على التسارع بصورة مستمرّة حتى 1ج (تسارع الجاذبية بالقياس إلى الأرض). أنَّ الزمن اللازم للوصول إلى مختلف الأجرام الواقعة على المسافات المُحدَّدة هو الزمن الذي تمَّ قياسُه على متن السفينة.

من الهيدروجين في الوسط بين النجمي، مما قد يُفاقم أيضاً مشكلة تجميع الكمية اللازمة من المادة القابلة للاحتراق. تتكوَّن طريقة أُخرى من استخدام نظائر الكربون والآزوت كـ "إنزيمَين" لاندماج الهيدروجين؛ وهذه العملية التي تجري في النجوم الصلبة، هي بالفعل سريعة جدّاً (طبعاً، أقلّ من اندماج الدوتوريوم). وينبغي أن يُزوِّد مُفاعِلٌ قادر على أن يُسرِّع بهذه العملية سفينة من ألف طَنّ إلى 1ج، قدرةً تبلغ 10000 تيراواط، أي أعلى ألف مرَّة من القدرة التي تولِّدها حضارتنا اليوم.

لن يكون تجميع المادّة القابلة للاحتراق كافياً، بل يجب أن نجعلها تحترِق

أيضاً. إنّما كيف نحرُق شيئاً يدخُل في المُحرِّك بسرعة قريبة من سرعة الضوء؟ الجواب الجليُّ، وهو "ينبغي أوَّلاً تخفيف سرعته"، يقود إلى صعوبة أكبر من تلك أيضاً: حيث لا يُمكننا أن نكبح شيئاً من دون أن نمتصّ صدمة الارتطام (حتى لو حدث ذلك "بهدوء"، من خلال حقل مغناطيسي). فسفينة رامجيت ستجد أنَّها تباطأت كثيراً نتيجة عملية تخفيف سُرعة مادّتها القابلة للاحتراق. والحقُّ أنَّ بعضهم ذهب حتى إلى استنتاج أن رامجيت ستُشكِّل "كابحاً" ممتازاً للصواريخ بين الكوكبيّة ...

اعترى الفتورُ الحميَّةَ الأوَّلية لبرنامج بوسارد إلى حدٍّ كبير أمام الصعوبات التقنية الهائلة لرامجيت، وتمَّ اقتراح عِدّة تعديلات هامّة بهدف أن تمنح المفهوم "واقعية" أكثر بقليل، لكن دائماً على حساب الاختزال الشديد لمواصفاته الخارقة. سيكون تعداد هذه المواصفات هنا عديم الجدوى، لأنَّ أيّة واحدة منها لن تكون أكثر كفاءةً من الطرائق المعروضة حتى الآن. إلّا أنَّ فكرة "صاروخ من دون صاروخ" يُجمِّع مادّته القابلة للاحتراق في طريقه، أهمّ من أن تُتجاهَل (*se non è vero, è ben trovato!*)؛ إنَّه المشروع الوحيد المعروف اليوم، الذي يُقدِّم إمكانية أسفار بين ـ كوكبية بسرعات نسبية (نظرياً!). ربَّما سيتوصّل مُهندسو المُستقبل إلى حلِّ المشكلات الرهيبة التي تطرحها الرامجيت اليوم. حينئذٍ قد يتمكّن رجالُ عِلمٍ جسورون من استخدامها، ليس فقط للوصول إلى المجرَّات البعيدة، بل للسفر على تخوم المستقبل أيضاً، على غرار طاقَم ليونورا كريستين...

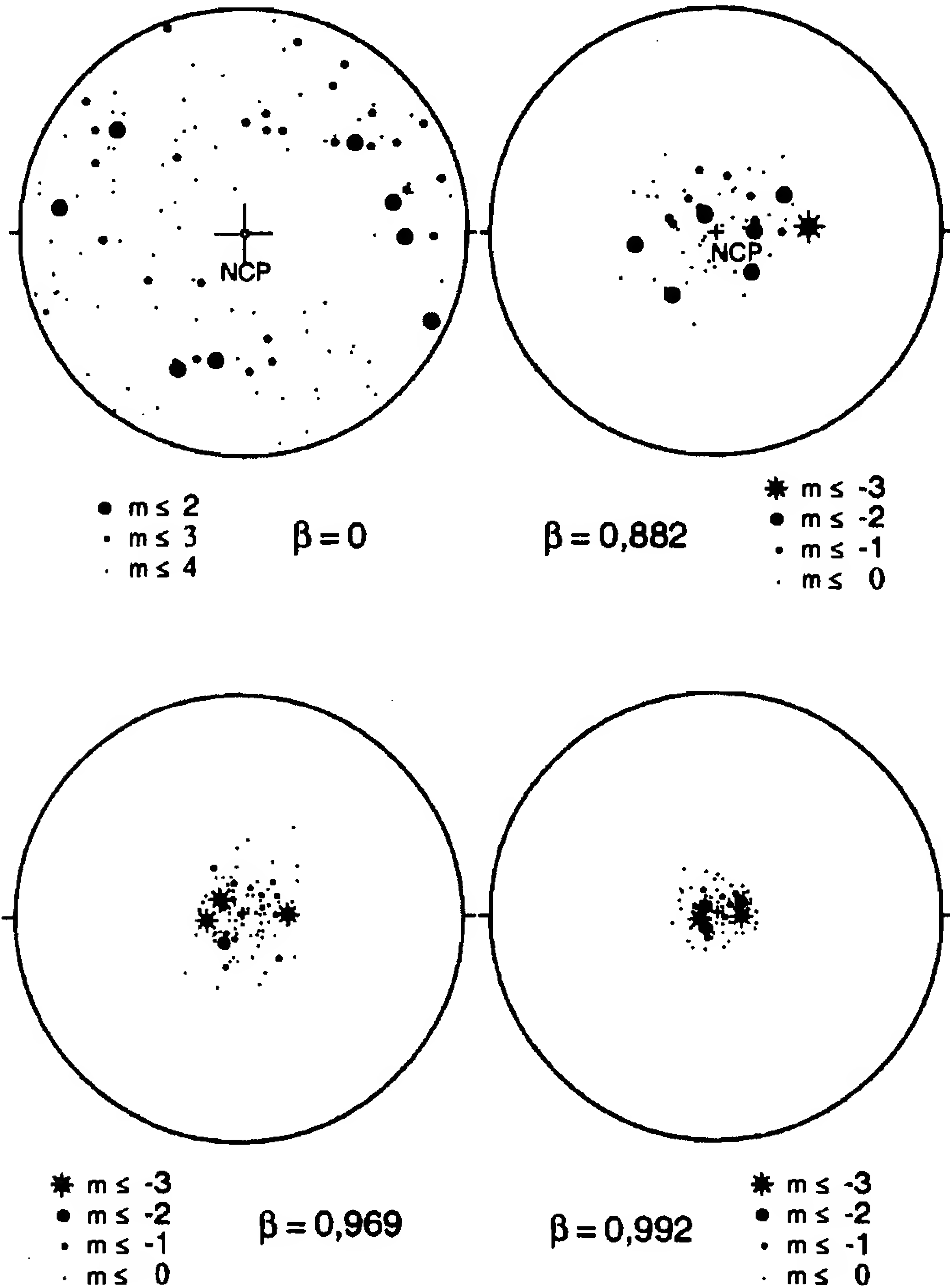
رؤى نسبويّة

لم يسافر أيُّ كائنٍ بشري على الإطلاق، ولا أيّ جهاز قياس ـ مهما كان حجمه مجهرياً ـ بسرعة نسبوية، أي قريبة من سرعة الضوء. الجُزيئات الأساسية هي وحدها المُسرَّعة إلى سُرعات عالية تبلغ هذه الدرجة في مُختبراتنا الأرضية. ليس من المُدهِش إذاً ألّا يألف الجمهور بعض الملامح الخاصّة للرحلات النسبوية.

كيف يُمكِن أن يكون مظهر السماء الذي سيراه طاقم رامجيت المُستقبلي (مع افتراض أنَّ رامجيت قابلة للتحقيق!)، التي تتسارع باستمرار في مجرَّتنا حتى تبلغ سرعات فوق نسبويّة ؟ خلافاً لما يُمكن أن نتصوَّره بسذاجة، يختلف المنظر كثيراً عن منظر سماء تعبُرها نجوم تمرُق بسرعةٍ فائقة نحو مؤخِّرة السفينة.

لا شيء خارقاً سيحدث حتى سرعة 0.5 c، أي حوالي (نصف سرعة الضوء). فالنجوم تبدو ببساطة أمام السفينة أكثر بريقاً بقليلٍ من المُعتاد. بعد ذلك، كلّما اقتربنا من سرعة 0.9 c، يبدأ مظهر السماء بالاختلاف. إذ تحتفظ النجوم أمام السفينة بموقعها دوماً، لكنَّ تلك الواقعة على الجانب (على "اليمين" أو على "اليسار"، "تحت" السفينة أو "فوقها"، على الرغم من أنَّ هذه التعريفات لا معنى لها تقريباً في الفضاء) تبدو أنها تنتقل نحو ... الأمام وليس نحو الخلف ! حقل الرؤية الأعلى يمتلئ بالنجوم أكثر فأكثر، بينما حقول الرؤية الجانبية تخلو منها شيئاً فشيئاً. وتغدو النجوم، في الوقت نفسه، رويداً رويداً، أكثر لمعاناً؛ مع سرعة 0.9 c، يُشبه بريقُ أكثرِها لمعَاناً بريقَ كوكب الزهرة، الكوكب الأكثر لمعاناً في سمائنا الليلية (باستثناء القمر).

لا يستمرّ تعاظُم بريق النجوم إلى ما لانهاية؛ بل يترافق، بالمقابل، مع تغيُّر تدريجي في لونها. فالنجوم الزرقاء تبلغ أقصى لمعانها، و... وتختفي من المشهد الكوني، على حين أنَّ النجوم الصفراء، والنجوم الحمراء تومض قليلاً قليلاً، ثُمَّ تغدو لامعة أكثر فأكثر، قبل أن تختفي بدورها. وبالتزامن مع هذا، تظهر في حقل الرؤية نجومٌ لا تني تتكاثر. مئات آلاف النجوم، بدل عدَّة آلاف يُمكن أن تُرى بالعين المجرَّدة من الأرض، تُغطِّي سماءً "مُشبَعة" بنقاطٍ مضيئة، ومُتجاورة أكثر فأكثر. ينحسر حقل الرؤية إلى بعض درجات الانفتاح فقط في أعلى السفينة. الباقي كلُّه غارق في الظلمة المُطلقة. وأخيراً، في السرعات الفائقة، التي تُقارب سرعة الضوء، تخبو النجوم الفردية. ويبدو الكون كلُّه مُكثَّفاً في منطقة صُغرى في الأعلى، لامعاً لمعان سطح الشمس تقريباً.



الشكل 11-2. إيضاح لصورة السماء التي يراها طاقم سفينة بين كوكبية، بحسب سرعتها (المعبَّر عنها بحسب سرعة الضوء β = v/c). السفينة متَّجهة نحو القطب الشمالي للقُبَّة السماوية (NCP)، بينما تتطابق الرموز مع القدر الظاهري للنجوم (السطوع)، بحكم أنَّ للنجوم الأكثر سطوعاً قدراً ضوئياً سالباً (مُقتبسة عن: ي. شيلدون و ر. جيل، ...... 1983).

تنتج صُور السماء المراقبة من سفينة نسبوية عن تصوُّرات افتراضية على الحاسوب، وتعود إلى مؤثرات بصرية بعضها معروف تماماً. وهكذا فإنّ تغيُّر لون النجوم يتأتّى من تأثير مبدأ "دوبلر ـ فيزو" : إذ يكون تردُّد الضوء الذي نتلقّاه من مصدر يقترب منّا أعلى من تردُّد المصدر نفسه حين يكون ساكناً، وأعلى بقدر ما تكون السرعة النسبوية كبيرة (لا يهمّ كثيراً من يتنقّل، سواء أكان المصدر، أم المراقب، أم كليهما معاً). الأثر نفسه يفسّر الصوت الأكثر ارتفاعاً في الظاهر من صفّارة إنذار سيارة إسعاف تقترب (وأكثر انخفاضاً إذا ابتعدت).

بسبب هذا الأثر، يبدو البثّ الضوئي للنجوم الصفراء، ثمّ بثّ النجوم الحمراء مائلاً إلى الأزرق، اللون الذي يتطابق مع التردُّدات الأكثر ارتفاعاً للطيف الكهرمغناطيسي الذي نراه بأعيُننا. كذلك، تنتهي النجوم الزرقاء "بالاختفاء"، بحكم أنّ بثّها الضوئي ينتقل إلى اللون فوق البنفسجي الذي لا يُمكن أن تلحظه عيوننا. وتبثُّ النجوم الصغيرة، الأكثر عدداً من النجوم الأُخرى، ضوءها خاصّة في اللون تحت البنفسجي الذي لا تراه عيوننا؛ وعلى الرغم هذا، يُفضي انتقال بثّها الضوئي نحو الأزرق، إلى جعلِها مرئيةً أكثر أيضاً.

ثمّة نتيجة مُباشرة لهذا المؤثّر هي أنّ المنبع يبدو أكثر لمعاناً مما هو في الواقع، لأنّ الفوتونات المُطابقة للتردُّدات العالية تحمل طاقة أكثر من تلك التي تحملها فوتونات الترددُّات المُنخفضة. وهذا يشرح الزيادة التدريجية لبريق النجوم كلّها، حتى لحظة اختفائها في اللون فوق البنفسجي.

مع السرعات الأكثر ارتفاعاً، ينصهر بريق النجوم كلّها في الإرسال الضوئي للسماء نفسها. وفي الواقع فإنّ الكون يحوي إشعاعاً "بارداً"، وهو من بقايا الحقبة الأوليّة الساخنة للانفجار العظيم (الفصل الرابع)، التي تقِلُّ تردّداتها ألف مرّة عن تردُّدات الضوء المرئي. ذلك أنّ الكون بأكمله يُرسل موجات أشعّة، لا تراها عيوننا، لكنّ مقاريب إشعاعية كشفتها منذ عام 1965. وفوتونات هذا

الإشعاع أكثر عدداً بآلاف المرّات من تلك التي تُرسلها النجوم، وحين يجعلها مؤثّر "دوبلير - فيزو" مرئيةً، تُخفي كلَّ إرسال في السماء.

ومع ذلك، فإن الأثر الأكثر إثارةً هو أثر "انكماش" السماء المرئية، العائد إلى زيغان الضوء. هذه الظاهرة، التي يعرفها علماء الفلك جيِّداً، مماثلة للظاهرة التي تنتج عن سقوط قطرات المطر على زجاج سيّارة مُتحرِّكة: حتى لو سقط المطر عمودياً، فإن للقطرات مساراً مائلاً بالنسبة إلى السيارة (ولاسيَّما وأنَّ سرعة السيارة كبيرة)، وتعطي انطباعاً بأنَّ مصدرها موجود في مكانٍ مَّا أمام السيارة. وهكذا، كلَّما زادت سُرعة السفينة النسبوية، بدت نجوم السماء (حتى تلك الموجودة وراء السفينة الفضائية) متجمِّعة في الأمام، حيث تُفرِغ جزءاً متزايداً من السماء. ويتكوَّن لدى روَّاد الفضاء انطباعٌ بأنّهم ينفصلون قليلاً قليلاً عن كونهم المألوف، ويدخلون كوناً فارغاً، لأنَّ "حبلاً سُرِّياً" مُقلَّصاً يضمن الاتِّصال بين الكونَيْن ...

بعد أن يُسجِّل حاسوب متن السفينة، بادئ ذي بدء، في ذاكرته إحداثياتِ أغلب النجوم، سيتمكّن بالتأكيد من تصحيح مظهر الكون الخارجي (مثلما سيبدو لِمُراقبٍ ثابت في مكانِ مرور السفينة النسبوية). يُضاف إلى ذلك أنَّ مقارنة هذه الإحداثيات مع الإحداثيات الظاهرة للنجوم، تقيسها خلال الرحلة أدوات متوفِّرة على متن السفينة، ضرورية لتحديد سرعة السفينة، مع الأخذ الكامل بعين الاعتبار أثر انزياغ الضوء. ففي السرعات فوق النسبوية لا يُمكن أن يُقاس، مع ذلك، موضع أي نجم، لأنَّ كل جسم يفقد فرديَّته بانصهاره في بريق الإشعاع الكوني موحَّدِ الشكل. وبحكم أنَّ المِلاحة مستحيلة في هذه الظروف، ينبغي أن تتبع السفينة مساراً مُعدّاً سلفاً. ثُمَّ إنَّ تصحيحاً مُحتَملاً للمسار سيتطلَّب كبح السفينة إلى سرعة أقلّ؛ وحينئذٍ سنرى مشهد الكون الرائع يتفتَّح كمثل وردةٍ مُتَّخذاً بالتدريج مظهره المألوف...

مخاطر الرحلات النسبوية

تنطوي الرحلات النسبوية على مخاطر أعظم كثيراً من المؤثِّرات البصرية البسيطة في نفسية الطاقم والمسافرين. فقد رأينا، في القسم الأوَّل، أنَّ مُحرِّك رامجيت سيُغذِّيه الهيدروجين والدوتوريوم الموجودان في الوسط بين الكوكبي. هذا الوسط مليء أيضاً بأنواع كيميائية أُخرى، أثقل من الهيدروجين. بعض هذه الأنواع، كالكربون، والأكسجين، أو السيليسيوم، تتلاصق لتكوين ذرّات الغبار التي يبلغ حجمها النموذجي بعض أجزاء الملايين من المتر، وكتلتها 10^{-16} غراماً تقريباً. هذا الغبار دقيق جداً: المسافة المتوسِّطة بين ذرّتين في منطقة بين نجميّة نموذجية تبلغ عِدّة مئات الأمتار. وعلى الرغم من ذلك، فإنَّ سفينة قطرها عشرة أمتار، وتنتقل بسرعة 0.1c (30000 كيلومتر/ثانية) ستصدّ عِدَّة آلاف ذرّة في الثانية.

تشكّل ذرّات الغبار هذه خطراً حقيقياً على الأسفار بين الكواكب. حتى إن كانت عملياً جامدة في الوسط بين النجمي، فهي تتنقّل بالنسبة إلى السفينة بسرعة مُساوية (ومُعاكِسة!) لسرعتها. حيث تحمل ذرّة سُرعتها 0.1 c طاقةً حركيّة كبيرة، على الرغم من صِغر كُتلتها. يُمكن أن يؤدي تفجُّر هذه الجُسيمات بين الكوكبية، المُستمِرّ على السفينة إلى الإضرار الجدّي بهيكلها خلال سنوات الرحلة الطويلة.

ستكون الأضرار، على نحوٍ مُفارِق، أكبر مع سُرعاتٍ "منخفضة"، بمعدّل 0.1 c. وفي هذه الحال، ستتبخّر مادّة الهيكل حول نقطة الاصطدام، واستخراج غازها في الفضاء سيؤدّي إلى التآكُل التدريجي للهيكل. سيلزم إذاً بِرعٌ بسماكة عِدّة سنتيمترات، مصنوع من الغرافيت، أو من البيريليوم أو من الألومنيوم، لكي يحمي من التآكُل سفينة غير مأهولة مثل ديدالوس، عند تجوالها لعِدّة عقود بسرعة 0.1c. ومع سُرعات فوق نسبويّة (قريبة جدّاً من c) الذرّات قادرة على اختراق الهيكل، غير أنَّ المادّة المُتبخِّرة على طول مسارها لا تلبث أن تتصلّب،

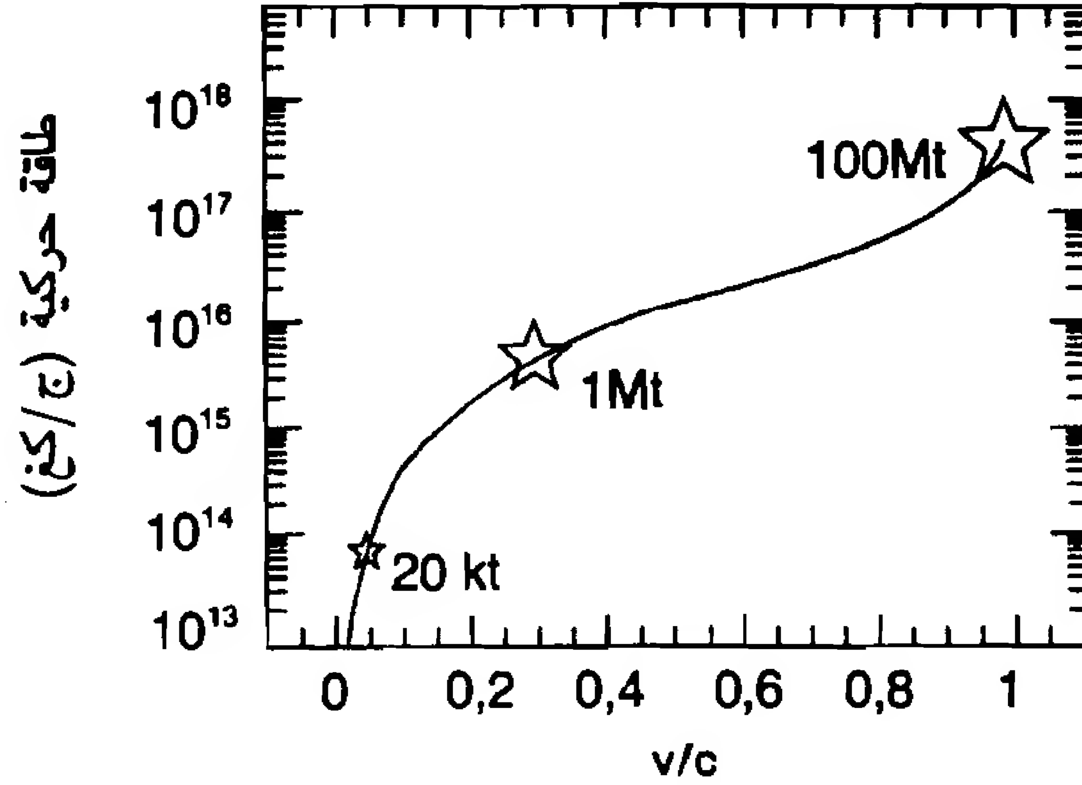
ويبرِّدها التماسُّ مع الطبقات المُتاخمة؛ وفي هذه الحال يبدو التآكُل غير ذي أهمية.

تُشكّل الذرّات بين الكوكبية، بالتأكيد، الخطر الأكبر على هيكل سفينة بين نجميّة، غير أنَّ على طاقم السفينة وإلكترونياتها الخشية الأعظم أيضاً من الإشعاعات الكونية. هذه الجُسيمات، من بروتونات، وألكترونات، ونُوى ذريّة، تذرع الفضاء بسرعات نسبية، حيث تُسرِّعها انفجاراتُ بعض النجوم. في الفصل الأوَّل، رأينا الخطر الذي تُمثِّله هذه الجزيئات على الأسفار بين الكوكبية. والحال أنَّ الأكثر سرعةً بينها (تبلغ سرعة أكبر من 0.5 c تقريباً) تتوصّل إلى اختراق داخل المجموعة الشمسية. أمَّا الأخرى فتتوقف على حافّة المجال الشمسي، على مسافة حوالي عشرة مليارات كيلومتر من الشمس، حيث تصدُّها الريح الشمسية، أيّ هذا الفيض من الجسيمات النابع باستمرار من سطح نجمنا.

بعد أن تخرج السفينة من المجال الشمسي، عليها أن تُواجِه جُملة الإشعاعات الكونيّة، وليس فقط أكثرها سرعةً. لكنَّ هذا ليس شيئاً بالمُقارنة مع الخطر الذي تُمثِّله النوى الذرّية للغاز بين الكوكبي. هذه النوى غير الهجومية عادةً، بالقياس إلى سفينة نسبوية، تتحوَّل إلى إشعاعات كونية ناشطة وقادرة على الاختراق. ولا بُدَّ من استخدام حقول كهرمغناطيسية لِصدّ هذه الجزيئات المشحونة. وبالمُقابل، ستُركِّزها الشبكة المغناطيسية للرامجيت في غرفة الاحتراق، مثلما رأينا في واحدٍ من الأقسام السابقة. ومع ذلك، إن حدث وأضعف هذا "الدرع الفعّال"، نتيجة عطلٍ تقنيّ في النظام، سيحترق الطاقم على الفور. لا بُدّ إذاً من أن تُستخدَم، في الوقت نفسه، حماية غير فعّالة أكثر تقليدية. لتأمين هذه الحماية، بحسب التقديرات، ستكون طبقة من الرصاص بسماكة متر تقريباً ضرورية لامتصاص أكبر قدْر من الجسيمات النشِطة وتخفيض الجُرعات التي يتلقّاها طاقمُ سفينةٍ نسبوية على مستوىً مقبول. وستتطلّب حمايةٌ مناسِبة دروعاً تزِنُ عِدّة آلاف من الأطنان، زائدةً بهذا إلى أكبر قدْر كتلة السفينة، وبالتالي، الحاجات إلى المادّة القابلة للاحتراق.

غاب ملمحٌ آخر للرحلات النسبوية، بصورة غريبة، عن انتباه كُتّاب الخيال العلمي (ما عدا استثناء واحد). وفي الحقيقة سيكون حساب أساسيّ بسيط كافياً لكي يُبيّن أنّ شيئاً نسبوياً يُرى بالعين المُجرّدة يشكّل، من مجرّد سرعته، "قنبلة" بقوّة خارقة (الشكل 12.2). فالطاقة الحركية لكتلة وزنها 1 كغ تنتقل بسرعة 0.3c تعادل الطاقة الناتجة عن قنبلة حرارية نوويّة من 1 ميغاطَنّ (وهذا سلاح نموذجي في الترسانات الحديثة، أقوى خمسين مرّة من قنبلة هيروشيما)، وبسرعة 0.99c تُعادل قنبلة من 100 ميغاطَنّ (السلاح الأكثر قوّة الذي لم يسبق أن تمَّ اختباره أبداً). إنَّ الطاقة الحركية لسفينة بين نجمية من نموذج ديدالوس (كتلتها 120000 ميغاطَنّ وتنتقل بسرعة 0.15 c) تُعادل 120000 ميغاطَنّ من مادة TNT، أي اثني عشر ضعف كتلة ما تحويه جملة الترسانات النووية في العالَم؛ وهي تساوي الطاقة التي يُحرِّرها اصطدام نيزك قطره 1 كيلومتر، قادر على أن يُسبِّب "كارثة شاملة" على الأرض (الفصل الثالث). وتبلغ طاقة سفينة رامجيت وزنها 10000 طنّ، وسرعتها 0.99 c، عشرة آلاف ضعف طاقة ديدالوس، حتى إنّها تفوق طاقة الارتطام التي وضعت نهايةَ مملكة الديناصورات، قبل 65 مليون عام ...

تدلُّ هذه الأرقام على أنَّ السُّفن النسبوية هي صواريخ حقيقية؛ وارتطامها، الإرادي أو العرَضي، بجسم سماوي قد يُسبِّب كارثة لا يُمكِن تخيُّلها، كارثة تُحوِّل سطح كوكبٍ باكمله إلى جحيم. اكيد أنَّ كمية الطاقة اللازمة لتسريعها إلى مُعدّلات عالية بهذا القدْر كميّة هائلة وتتجاوز كثيراً القدرات الحالية لحضارتنا (نحن لا نستطيع تسريع ديدالوس إلى 0.15 c، حتى لو فجَّرنا ترساناتنا النوويّة كلّها). ومع ذلك، لو توصَّل النوع البشري ذات يومٍ إلى بناء هذه السفن، فعليه أن يتعامل معها بِحيطة. فالواقع أنَّ سفينة فوق نسبوية أخطر من مُذنَّب أو نيزك بالطاقة نفسها، وذلك ببساطة نظراً لسرعتها الخارقة. لقد شدَّد على هذه النقطة كُلٌّ من "ج. بيلغرينو" و"غ. زامبروفسكي" في روايتهما في الخيال العلمي، وعنوانها *النجم القاتل*. حين يُكتَشف جسم نسبوي، يكون قد فات الأوان، حتى



الشكل 12-2. طاقة حركيّة (مقيسة بالجُوْل) لكتلة من 1 كيلوغرام بحسب سرعتها (مقيسة بجزء من سرعة الضوء c). في سرعة مقدارها 0.1c، تُعادل الطاقة الحركيّة طاقة قنبلة هيروشيما (20 كيلوطَنّاً من TNT)؛ وفي سرعة مقدارها 0.99c، تعادِل طاقة قنبلة وزنها 100 ميغاطَنّ (السلاح الأقوى غير المُختبَر إطلاقاً).

من أجل الصلاة : إذ إنَّه في اللحظة اللاحقة يكون قد أصاب هدفه (على سبيل المثال، يستغرق الزمن بين اكتشاف صاروخ سرعته 0.99 c، على مسافة المُشتري، ووصوله إلى الأرض عِدّة دقائق؛ وفي حال مُذنَّب، يستغرِق عِدّة أشهُر).

رجال فضاء "نائمون"... أو خالدون ؟

بغية الوصول إلى النجوم الأكثر قُرباً، تبدو المصاعب اليوم عصيّةً على التخطّي. إذ لا وجود، في الوقت الحاضر، لأيّ مشروع جدّي لبناء صاروخ قادرٍ على حملنا إلى النجوم في زمنٍ أقلّ من مُدّة حياة الإنسان.

في وُسعنا، ونحن بانتظار أن يُقدِّم لنا العلم والتقنية مشاريع "واقعية" لنقلٍ سريع، أن نتساءل عن النطاق الذي تُشكّل فيه الحدود التي تفرضها الآن مدّة حياة الإنسان، بصورة حقيقية، عاملاً مُحدِّداً للأسفار بين النجوم.

لقد أجبر العائق الذي تفرضه اللوحة الثُلاثية "السرعة القصوى للضوء، والمسافات الكبيرة جدّاً بين النجوم، والمدّة القصيرة لعمر الإنسان"، كتّاب الخيال العلمي على اكتشاف فكرة الأسفار بين الكوكبية، البطيئة. تتعلّق هذه الأسفار إمّا بروّاد فضاء في حال سبات شتوي، وإمّا بمستوطنات كاملة تعيش على امتداد أجيال عديدة في "سفُن ـ عوالِم". تُمثّل هذه الحلول، على الأرجح، مشاكل تقنية أقلّ بالقياس إلى وسائل الدفع. بَيْد أنّها تثير أسئلةً عديدةً أُخرى، في ميدان علم وظائف الأعضاء، بقدر ما هي في ميدان علم الحياة (في حال روّاد الفضاء "المُنوَّمين")، أو أيضاً في علم النفس، وعلم الاجتماع (في حال السفُن ـ العوالِم).

تُمثّل فكرة وضع روّاد الفضاء في حال من البيات الشتويّ بهدف تخطّي مشكلة مُدّة الأسفار بين الكوكبيّة، مزايا واضحة: فهي لا تُخفّض إلى حدٍّ كبير حاجات البعثة من الهواء والمؤونة وحسب، بل تُلغي المُشكلات النفسية المُحتمَلة الناتجة عن إقامة عِدّة عقود في محيطٍ محدود. طبعاً، طيلة الرحلة، يجب أن تُسنَد مراقبة السفينة إلى الحاسوب الموجود على متنها، الذي يجب أن يسهر على صيانة الوظائف الحيويّة للطاقَم، وإيقاظه عند الوصول إلى وِجهته.

هذه الفكرة مُوضَّحة جيِّداً في كتاب *2001، أوديسة الفضاء*، المؤلَّف الجليل لكُلٍّ من "آرثر س. كلارك"، و "ستانلي كوبريك". فمن أجل تخفيض الحاجات المعيشية لبعثة إلى المُشتري، يوضع ثلاثة أعضاء من الطاقم في حال سُبات شتوي. بينما يقوم العضوان الآخران بضمان مراقبة السفينة، يُساعدهما في هذه المُهمّة حاسوب السفينة، حاسوب "هال" المشهور. غير أنَّ هذا الحاسوب، يقتل، إثر وقوع "أزمة هُويّة"، أربعة من أعضاء البعثة، قبل أن يُفجِّره الناجي الوحيد. يُريد كلارك من هذا أن يوضِّح مخاطِر الثقة العمياء بالآلات، ويطرح بطريقة مأساوية السؤال الأساسي: هل يُعقَل أن نعهَد إلى الآلات بحياة البشر خلال عِدة سنوات من رحلة بين النجوم؟

من الصعب أن نُجيب اليوم على هذا السؤال. فالتطوُّرات الواضحة في مجال الذكاء الاصطناعي وعلم الروبوت، تسمح بالاعتقاد أنَّ الجواب سيكون، عاجلاً أم آجلاً، "نعم". لكنْ، لا ينبغي أن ننسى أنَّ جزءاً مُتزايداً من البعثات الفضائية ملقى على عاتق الحواسيب. فلمّا كان تعقيد هذه البعثات يتنامى بأسرع من تنامي قُدرات البشر في الإدارة، يتَّضح أنَّ الأسفار بين الكواكب ستستند، في الأحوال كافّةً، على حواسيب المستقبل المُتقنة.

وبالمقابل، لا تبدو إمكانيةُ وضع الجهاز العضوي للإنسان في سبات شتويّ، بديهية اليوم. صحيح أن الطبيعة تُقدِّم لنا مثالاً معروفاً للغاية: بعض حيوانات الغابة تدخل في سبات شتوي، إذ يسمح لها الانخفاض الكبير في درجة حرارتها، وتباطؤ استقلابها، بأن تعيش عِدّة شهور من دون غذاء. طبعاً الإنسان لا يمتلك هذه القدرة، بيد أنَّ بعض تجلِّيات وظائفه العضوية تُمثِّل تشابُهاً اصطناعياً مع ظاهرة السبات الشتوي. وفعلاً، نُصادِف في الحوليّات الطبيّة عِدّة حالات أشخاص "أُعيدوا إلى الحياة" بعد أن تحمَّلوا تبريداً كثيفاً. تلك هي حال أشخاص وجدوا أنفسهم غائصين في مياهٍ باردة (بعد غرَق سفينتهم)، أو مأخوذين في انهيارٍ ثلجيّ. وحين أُخرجوا، بعد عِدّة ساعات، من نعشهم المُتجمِّد، كانت قلوبهم متوقِّفة، وحرارة أجسامهم مُنخفضة إلى 20 درجة، وهذا أقلّ بكثير من الحرارة الطبيعية: 37 درجة. واستطاعوا مع ذلك أن يُنعَشوا، بعد تسخين أعضائهم الداخلية بحقنها بسائل ساخن. وفي عدد كبير من الحالات، حصلت العودة من حال انخفاض الحرارة إلى الحال الطبيعية من دون أضرار كبيرة في الجهاز العصبي.

توحي هذه الحالات بأنَّ الدِّماغ يكتفي بِمساهمة قليلة من الأكسجين إذا كانت الحرارة مُنخفضة بما يكفي، على الأقل خلال مدّة محدودة. حينئذٍ يُمكننا التفكير في وضع الجسم البشري في حال سبات شتوي بتخفيض حرارته، وإبطاء إيقاع استقلاب، ووظائفه الحيوية الأخرى. ومع ذلك، بيَّنت الأبحاث أنَّ ثمَّة

اختلافات هامّة بين السبات الشتوي عند الحيوانات، والمحافظة على الحياة في حال نقص الحرارة. لا ريب في أنَّ أهمّ اختلاف هو أنَّ الحيوانات تخرج تلقائياً من سُباتها الشتوي، وليس من حال نقص حرارة. السُبات الشتوي ناتج عن ملايين السنين من التطوُّر الطبيعي، على حين أنَّ نقص الحرارة وضعٌ مفروض بقسوة من الخارج، وضع ليس الجهاز العضوي مُبرمَجاً للتعامُل معه. لقد بيَّنت دراساتٌ مختلفة أنَّ ثمَّة وسائل تُساعد الجهاز العضوي على تحمُّل نقص الحرارة، كالأكْسَجة بالضغط العالي، والحقن بِسكَّر العِنب (الغلوكوز) للقضاء على نقص السكَّر في الدم، وضبط مستوى الكهارل الكهربائية (الألكتروليت) الدموية إلخ. ومع هذا، لا يسمح وضع معارفنا اليوم بأيٍّ استنتاجٍ مُتعلِّق بإمكانية سُبات شتوي اصطناعي.

الإطالة القصوى لحال السبات الشتوي هي "الإنعاش المُعلَّق". لم يعد الأمر متَّصلاً هنا بإبطاء الوظائف الحيويّة، بل بتوقُّفها الكامل خلال فترة طويلة. ذلك أننا نجد في أساس الظاهرة تخفيض درجة حرارة الجسم، لكنْ إلى مستوى أقلّ بكثير من حال نقص الحرارة؛ أي تحت درجة 130 مئوية بكثير. وفي درجات حرارة مُنخفضة إلى هذا الحدّ، تكون حركات الجُزيئات بطيئة إلى درجة أن أيَّ تفاعُل كيميائي داخل الخلايا يتوقَّف بصورةٍ فعليّة. ويبدو أن الزمن يتوقَّف بالنسبة للخلايا المُجمَّدة.

ثمَّة اليوم فرع جديد لعلم الحياة قائم على هذا الفِعل: بيلوجيا الحرارة المنخفضة. تتَّصل تطبيقاته العديدة بالإنسان كما تتصل بالحيوانات. فالخلايا الدموية المُجمَّدة تُحفَظ خلال أكثر من عشر سنوات، ويُمكِن استخدامها من جديد، بينما لا تعيش أكثر من عِدّة أسابيع في برْدٍ "عادي" (حوالي الدرجة صفر). وتُشكِّل بنوك "المني المُجمَّد" تطبيقاً دارجاً اليوم، فالحيوانات المنوية والبويضات يُمكِن أن تُحفَظ إلى ما لا نهاية بدرجة 130 مئوية.

القِوامُ الجوهري لِجُهد المُتخصِّصين في بيولوجيا الحرارة المنخفضة هو

مُقاومة العدوّ الأساسي للخلايا المُجمَّدة: الثلج. فعندما تنخفض درجة الحرارة، يبدأ الماء الذي يغمر الخلايا (تقريباً 80% من الحجم الإجمالي) بالتحوُّل إلى بلورات ثلجية؛ وإذ إنَّ الثلج أخفُّ من الماء السائل، فهو يشغل حجماً أكبر. يتِمُّ هذا على حساب الخلايا، التي تُضغَط نتيجة ذلك، وتنتهي بأن تتحطَّم. وبغية منع هذه العملية القاتلة، يحقِن متخصِّصو بيولوجيا الحرارة المنخفضة في النُّسُج، قبل تخفيض درجة حرارتها، عناصر الحماية بالتبريد. ويبدو أنَّ أكثرها فاعليةً هو الغليسيرين الذي تمَّ اكتشاف فعلِه الواقي بالتبريد سنة 1984. تحت ـ 130 درجة مئوية، لا تعود بلورات الثلج قادرة على التشكُّل، فتبقى الخلايا سليمة. وقد بيَّنت التجارب أنَّ التبريد يجب أن يتِمَّ بإيقاع مثالي مع كُلِّ نموذج من الخلايا؛ وفي حال الخلايا الدموية التي يحميها الغليسيرين، يكون إيقاع هذا المُعدَّل 100 في الدقيقة. ويجب أن يكون المعدَّل المثالي لتغيُّر الحرارة هو نفسه المُطبَّق أيضاً عند تسخين الخلايا وإنعاشها اللاحق.

هذه الطرائق مُطبَّقة بنجاح على عيِّنات صغيرة من النُّسُج (عِدة سنتيمترات مُكعَّبة على الأكثر). غير أنَّ تطبيقها على أعضاء جسم كاملة هو مسألة أُخرى، لأنَّ الأمر متعلق بكتل كبيرة من النسُج، تحتوي على عِدّة نماذج من الخلايا المختلفة. ومع كلّ نموذج من الخلايا يتطابق مُعدَّل أقصى للتبريد، وحتى بِمساعدة عُمَّال مُتخصِّصين في الحماية بالتبريد، فإنَّ من الصعب مواجهة تبريد كامل العضو، فكيف بتبريد جهاز عضوي بأكمله. سيظلُّ هذا، في نظر المُتخصِّصين في التبريد البيولوجي، مستحيلاً أبداً.

من المُهِم مُلاحظة أنَّ الأسفار بين الكوكبية البطيئة، في حال السبات الشتوي أو في حال الإنعاش المُعلَّق، يثير مشكلة مماثلة لمشكلة الأسفار النسبوية المعروضة في الأقسام السابقة. وفي الحالين كليهما، يشيخ رائدُ الفضاء بسرعة أقلّ من سرعة شيخوخة أشباهه الباقين على الأرض. ومع ذلك، فإن رائد الفضاء النسبوي هو وحدَه القادر على العودة إلى الأرض خلال حياة أقربائه،

وعلى تحمُّل صدمةِ رؤيةِ أنّهم أكثر شيخوخةً منه. وسيعرف رائد الفضاء "المُنوَّم" بفطنةٍ أنَّ أيَّ وجه معروف لن يكون هناكَ لاستقباله عند عودته...

الأمر النظري أكثر أيضاً هو أنَّ فكرة الإنعاش المُعلَّق تعني فكرة إطالة هامّة لمتوسِّط عمر الإنسان. وقد احتفظت الفرنسية "جانّ كالمان" التي ماتت عن عمر 122 سنة (في شهر حزيران/يونيو 1997)، بالرقم القياسي العالمي. ثُمَّ إنَّ بعض الحيوانات، كسُلحفاة البحر، يُمكن أن تعيش مائتي سنة، لكنَّ أيَّ حيوان لا يمكن أن يبلغ عمر "متوشلِح" الذي عاش 969 سنة كما ورد في الإنجيل. والحال أنّنا، من أجل أن تغدو الأسفار بين الكوكبية معتادة، حتى بوسائل نقل بطيئة، يجب أن نعيش على الأقلّ ألف سنة. ذلك أنَّ رحلة ذهاب - إياب إلى نجومٍ قريبة، بعدّة أجزاء من مئة من سرعة الضوء، قد تدوم عِدّة قرون، أي عِدّة أجزاء من عشرة من حياةِ متوشلِحٍ مستقبلي. وبالقياس إلى أحوالٍ أُخرى، نجد أنَّ حملات ملّاحي الماضي الكبار (كماجلّان أو كوك)، التي كانت تستمِرّ عِدّة أعوام، ستُمثِّل أيضاً جزءاً هامّاً من حياة الطاقَم المنقضية في البحر.

يُنظَر اليوم إلى إطالة حياة الإنسان المُدهشة بكثير من الريبة، سواء في أوساط رجال العلم أم في أوساط الجمهور. ممّا لا شكَّ فيه أنَّ العبور إلى الخلود هو حلُم البشرية القديم؛ لكنَّه حلُم معروفٌ بأنَّه عصيٌّ على التحقيق، لأنَّ الخلود، في أديان العالم وأساطيره كافّة، مقصورٌ على الآلهة. والموت هو الخاصّة الجوهريّة لكُلِّ كائنٍ حيّ. وعلى الرغم من هذا، ليست شيخوخة خلايانا، وموتها، في النهاية، سوى سيرورة حياتية. وحتى لو كانت هذه السيرورة غير معروفة جيِّداً اليوم، فمن الممكن أن يتوصَّل علماءُ الحياة القادمون إلى أن يكشفوا، أو يوجِدوا وسائلَ قهرها، على الأرجح، مُقابل التبديل الكامل للجهاز الوراثي *للإنسان المُنتصِب* ...

من الواضح أنَّ "إكسير الخلود" (أو، ببساطة، "إكسير إطالة الحياة") فيما لو توفَّر اليوم، لخلقت المشكلةُ السكّانية الناتجة عنه أزمّة اجتماعية لا سابق

لها. وليس إلا حضارة المُستقبل التي تملك مصادر المجموعة الشمسية وحدَها، هي القادرة على إدارة هذا الوضع، على الأقلّ في غضون عِدّة قرون. وفي زمنٍ لاحق، ستجد نفسها مُجبرةً على أن تسلك طريق النجوم.

يُمثِّل استخدام طاقَم في سُبات شتوي، أو خالد تقريباً، نقطة ضعفٍ أُخرى: ففي أثناء القرون التي ستستغرقها الرحلة، قد يتمكَّن رجال العِلم في الأرض من إيجاد وسيلة نقل أسرع بكثير، وتحضير بعثة إلى المجموعة الشمسية نفسها. وحين يصل روَّاد فضاء السفن البطيئة إلى وجهتهم، سيكتشفون أنَّ سنواتهم "المُضحَّى بها" طيلة الرحلة لم تُفِدْهم في شيء، بِحكم أن بلوغ الهدف تمَّ من دونهم. روَّاد الفضاء اليائسون وحدهم هم الذين سيقبلون هذا النوع من الأسفار.

يبدو إذاً أنَّ هذا النموذج من الأسفار البطيئة، بمعزلٍ عن تطوُّرات علم الحياة، لن يظفر بحظوظ أن يُستأنف في المُستقبل. وعلى الرغم من ذلك، تمَّ اقتراح أفكار أخرى عن أسفار بطيئة صوب النجوم.

سفُن الفضاء

من الصعب أن نتصوَّر رحلةً بطيئة بين النجوم في سفينة فضائية "عاديّة"، أيّ حجمها صغير، ولا توفِّر الراحة المطلوبة (إلا في حال السُبات الشتوي لِروَّاد الفضاء). بُغية تحمُّل سأمِ رحلة طويلة في الفضاء تستغرق عِدّة قرون، يبدو أنَّه لا بُدّ من مُحيطٍ "طبيعيّ" ما أمكن، يتمكّن فيه الطاقم (الخالد أم غير الخالد) من التطوُّر كما على الأرض. ومن جانبٍ آخر، إنَّ بعثةً كهذه، خِلافاً لِبعثةٍ سريعة، لن تتمكّن من اكتساب طابعٍ اكتشافيّ. بالأحرى، رُبَّما فُكِّر بإقامة دائمة عند الوصول، تتضمَّن طاقماً كثير العدد. هذا النمط من الرحلات يتجنَّب أيضاً خطر الإحباط، في حال انتظركم عند الوصول مُكتشِفون أكثر سُرعةً، انطلقوا لاحقاً، لكنّهم وصلوا في وقتٍ أبكر...

إنَّ سُفناً ضخمةً جدّاً، تستطيع أن تحتوي نُظماً بيئيّة كاملة، وذات قدرة عالية على إعادة التصنيع التامَّة تقريباً، ستكون، بجلاءٍ، ضروريةً لهذا النوع من الأسفار بين النجوم. وهذا النمط من السُّفن، وهو نموذج حقيقي مُصغَّر لِـ "السفينة" الأرض، معروفٌ، في الأدب باسم "السفينة ـ العالَم"، أو أيضاً باسم "سفينة الفضاء". وستتعاقب عِدّة أجيال على متن السفينة طيلة قرون الرحلة والفيّاتها، ممّا يشرح اسمها الآخر "سفينة الأجيال" الذي نُصادفه أحياناً في نصوص الخيال العلمي.

يبدو أنَّ أوَّل من صاغ هذه الفكرة بوضوح هذه المرَّة، هو كرَّةً أُخرى، أبو علم الملاحة الفضائية قسطنطين تسيولكوفسكي، في بحثٍ منشور عام 1926. وقد قدَّر قيمته أيضاً الفيزيائي الإنكليزي "جون ديموند برنال"، في كتابه *"العالَم، والجسد، والشيطان"، المنشور سنة 1927. حاول برنال أن يكتشف مستقبل النوع البشري، المُستقبل الذي سوف يسِمُه الصراع ضدَّ الأعداء الثلاثة التقليديين للتقدُّم: العالَم الذي يرمز إلى الكوارث الطبيعية؛ والجسد الذي يرمز إلى أعداء جسم الإنسان (الأمراض، والشيخوخة، والموت)، والشيطان الذي يرمز إلى قوى النفس الظُّلاميّة، وغير العقلانية (الجنون، والغِيرة، والطَّمَع، إلخ). لقد مضى برنال بعيداً في رؤيته للمستقبل، حتى أنه سبَق بعض الاكتشافات الحديثة في الفيزياء وعلم الحياة. وفكَّر، على نحوٍ خاصّ، بإكثار النوع البشري في المجرَّة عن طريق وسائل نقل ضخمة، تحمل آلاف المُسافرين.*

وصف برنال سفينة كُرويّة، قطرُها 16 كيلومتراً (الانسيابية الهوائية لا تلعب أيَّ دَورٍ في الفضاء الفارغ، وتوفِّر الكُرة أفضل علاقة بين الحجم، والمساحة الخارجية، وبعبارة أُخرى، بين الفضاء القابل للسكن وكتلة المواد الثقيلة الضرورية لبناء هيكل السفينة). وستبنى الكُرَة من مواد الكويكبات، أي الأجرام الصغيرة و"بقايا" أُخرى من المجموعة الشمسية. يتكوَّن الهيكل من مادّة شديدة الصلابة لكي تُقاوِم الصدمات، لكنَّها شفّافة حتى تسمح بنفاذ

الإشعاع الكهرمغناطيسي كلّما اقتربت السفينة من مصدر للضوء. حيث سيمتَصّ طاقةَ الإشعاع سائلٌ يجري في داخل الهيكل، ويمتلك خصائص اليخضور القادر على تركيب الجُزيئات العضوية انطلاقاً من الغاز الكربوني. ستُخزّن الموادّ الأوليّة (الكربون، والزجاج، والاكسجين) في طبقة داخليّة يبلغ سمكُها 400 متر. وأخيراً، سَتُغطّي المساحة الداخلية القابلة للسكن 2000 كيلومتر مُربّع، ستكون تحت تصرُّف حوالي ثلاثين ألف مُسافر.

وصْفُ برنال هذا يتضمّن أصلاً جملة العناصر الأساسية للسُّفن الحديثة التي أعاد تناوُلَها وتطويرَها لاحقاً مختلف الكُتّاب. أغلب هذه المشروعات يتبنّى سُفناً على شكل أسطوانة من كُتلة يتراوح وزنها بين عِدّة ملايين وعِدة مئات مليارات الأطنان. وسيكون الدَّفْعُ مؤمّناً، في أغلب الأحيان، عن طريق الاندماج الحراري النووي المضبوط، بينما تأتي المادّة القابلة للاحتراق من الكواكب العملاقة. يخضع سُكّانُ هذه السفن الذين يتراوح عددهم بين بضع مئات، وعدّة مئات من الآلاف، لجاذبية اصطناعية ناتجة عن دوران الأسطوانة. وقد استأنف جيرالد أونيل وطُلّابه دراسةَ عددٍ كبير من هذه العناصر (باستثناء نظام الدفع) وذلك في برنامجهم عن المستوطنات الفضائية حول الأرض (الفصل الأوّل).

في العام 1980، اقترح البرامجَ الاكثر تفصيلاً كُلٌّ من "آلان بوند"، المسؤول عن برنامج ديدالوس، وزميله "أنتوني مارتان". وقد فكّرا في سُفُن - عوالِم ضخمة بما يكفي لكي تُعيد في داخلها إنتاج سكَنٍ قريب ما أمكن من بيئتنا الطبيعية على الأرض؛ حتى إنّ واحداً من برامجهما كان يتضمّن بحيرة اصطناعية. وكان قطر سُفنهم الأسطوانية العملاقة سيتراوح بين 12 و 20 كيلومتراً، وقد يبلغ طولها 200 كيلومتر. ويُمكن أن تؤوي مساحتها البالغة عدّة آلاف كيلو متر مُربّع، ثلاث مئة ألف مُسافر. وقد يزن هيكل هذه السفن، وهو عبارة عن طبقة سماكتُها عِدّة أمتار، بضعة مليارات طَنّ. هذه السماكة لا تسمح

فقط بضمان التوازن الهيكلي للسفينة، بل تحمي المسافرين كذلك من الإشعاعات الكونية للفضاء، وذلك بخفض الجُرعات إلى مستوياتٍ مقبولة.

سيكون الهيكل، على مُنتصف طول الأسطوانة، مُغطّى بطبقة من الريغوليت (الـ "أرضي")، بينما سيشغلُ الجوُّ باقي الحجم. وستشغل المادّة القابلة للاحتراق النصفَ الثاني من الأسطوانة (في الحال السائلة)، هذه المادّة أصلب بعشرة أضعاف من الهيكل. مثلما هي الحال في مُستوطنات أونيل الفضائية، لا بُدَّ من تأمين جاذبيةٍ على المساحة المأهولة، تُعادِل بشكلٍ ملحوظ جاذبيةَ الأرض، وذلك بفضل دوران الأسطوانة حول محورها كُلّ خمس دقائق. ولأسبابٍ تتعلَّق بالاستقرار، لا بُدَّ أن يدور النِّصفان، اللذان يشغلهما السكن والمادّة القابلة للاحتراق، في الاتِّجاه المُعاكِس.

الاستطاعة اللازمة لدفع "عمالقة" الفضاء هذه، ستكون هائلة: حيث تطوِّر محرِّكات مشروع بلوند ومارتان استطاعة من عِدَّة ملايين تيراواط، وهي أعلى بمئات آلاف المرَّات من الاستطاعة الإجمالية لحضارتنا الحاليّة. سيتمّ إنتاج هذه الاستطاعة باندماج الدوتيريوم، تماماً كما في حال برنامج ديدالوس. وسيتِمّ طرد حوالي مئة طَنّ من الدوتيريوم كلّ ثانية، مُحرِّرةً طاقةً تُعادِل 2000 ميغاطَنّ من TNT (حوالي 20% من الترسانة النووية العالمية الحاليّة). ومع ذلك، مع الأخذ بالحسبان كتلة السُّفن الهائلة، سيكون التسارع الناتج غيرَ ملحوظ، إذ يُساوي واحد على ألف من تسارع الجاذبية على مستوى الأرض. ويُمكن لهذه السفن الفضائية، بعد خمسين سنة من عمل مُحرِّكاتها، أن تبلغ سرعة الطواف، أي 1500 كيلومتر/ثانية، أو 0.005c، مما يُتيح لها الوصول إلى مجموعة ألفا سنتوري خلال حوالي ثمانية قرون.

السُّفن - العوالِم الهائلة التي تصوَّرها بوند ومارتان، وسمّاها مُبتكِراها مارك - 2، تشبه كثيراً واحداً من أكثر الأشياء المعروفة في أدب الخيال العلمي: راما، السفينة - العالَم الفضائي في ثلاثية "آرثور س. كلارك" المشهورة. في أوَّل

أجزائها الأربعة، وعنوانه موعد مع راما، تدخل السفينة في المجموعة الشمسية سنة 2130 من عصرنا. أبعادها هائلة: يبلغ قطرُها 20 كيلومتر، وطولها 50 كيلومتراً، وسماكة هيكلها 500 متر، وتزِنُ كتلتها الإجمالية عشرة آلاف مليار طنّ. وكلارك لا يوحي بأيّة منظومة دفْع لهذه السفينة، مما لا يُعطي القارئ ما كان يتوقّع. وداخل راما، تكتشف بعثة كشفيّة نظّمها الأرضيُّون، أشكالَ حياة غريبة، وإنساناً آلياً، لكن لا تكتشف أيَّ أثر لذكاء المركبة الفضائية العملاقة وإدراكها. ومن دون محاولة إقامة أدنى اتِّصال مع الأرضيِّين، تغادر المركبة المجموعة الشمسية صامتةً مثلما كانت عند وصولها. تتجلّى عبقرية كلارك في وصفِ اتِّصال أوّل "من دون اتّصال" بين البشرية والكائنات الفضائية (هذا الاتِّصال قائم تماماً في أجزاء الثلاثية الأُخرى).

ليس من الواضح أن بُنىً اصطناعيّة بضخامة راما أو مارك يُمكِن أن تُشاد يوماً. فبصرف النظر عن أيّ اعتبار آخر، وعلى صعيدٍ تِقنيّ صِرف، يبدو أنَّ بناء أسطوانة طولها 200 كيلومتر في مساحة قابلة للسكن من عدّة آلاف كيلومترات مربّعة، ورطة حقيقية، بينما تبدو إعادة تنظيم النيزك من الداخل، فكرة أكثر واقعيّة بكثير مثلما رأينا في الفصل الأوّل.

علم اجتماع السفينة ـ العالم

لا يتعلق المظهر الأكثرُ أهمية لِسفن الفضاء بالمشاكل التقنية التي يطرحها [أسطوانات صناعية، كويكبات مثقبة، أنظمة دفع، إلخ.]. ذلك أنَّ كُتّاب الخيال العلمي والجمهور مبهورون، على نحوٍ خاصّ، بالمظهر الاجتماعي لهذا النوع من رحلات ما بين النجوم. أليس العيشُ بالاكتفاء الذاتي بين النجوم، داخل جماعات صغيرة تعدادها عدّة آلاف من الأفراد، شكلاً من أشكال المجتمع الطوباوي؟ ليست سفينة الفضاء، في الجوهر، إلا نسخة حديثة "لِمستعمرة فورير"، راجعها وصحَّحها علمُ القرن العشرين، وتكنولوجيا القرن الثاني والعشرين... والحال أن المشاكل المرتبطة بهذا النوع من المجتمع الطوباوي معروفة تماماً: غياب الاحتكاك بالخارج، والتحديات

الجديدة التي يجب التصدّي لها، وانغلاق المجتمع، والركود، والتنظيم الاجتماعي المتصلّب بُغية الحفاظ على الوجود الهشّ للجماعة خلال الرحلة التي لا تنتهي، إلخ.

كان الأميركي "روبرت هينلن" أوّلَ كُتّاب الخيال العلمي الذين استكشفوا هذه الأفكار، وذلك في روايته "الكون"، التي نُشرت عام يقدّم لنا عملُ "هاري هاريسون" *الكون الأسير* تصويراً رائعاً للمظاهر الاجتماعية للسفن الفضائية - العالم. حيث يتحوَّل الكويكب إيروس، في مستقبلٍ غير محدد، إلى سفينةٍ - عالم لكي ينقلَ جاليةٍ من سكان الأرض نحوَ النجم الأقرب، بروكسيما سنتوري، الذي تدورُ حولهُ بعض الكواكب. ومن أجل إبقاء السفينة في حالة عمل عبرَ قرون من السفر، وهذه مهمّة لا تتطلب إلا الحد الأدنى من الذكاء والإحساس الأعمى بالطاعة، يُعالَج طاقم القيادة معالجة وراثية؛ يُضاف إلى ذلك أنّ هذا الطاقم مقسوم إلى جماعتين تُجبرهما قوانين صارمة على العيش مُنفصلتَين خلال الرحلة. ولن تستطيع الجماعتان الاختلاط إلا عند الاقتراب من بروكسيما سنتوري، مما سيؤدي إلى ظهور مورّث يحمل خاصّة "الذكاء"، كان إلى الآن مُتنحّياً. وبهذه الطريقة، سوف يكون الجيل الجديد قادراً على مواجهة التحديات التي يفرضها مشروعُ استيطان المنظومة الكوكبية.

على الرغم من احتياطات مُصمِّمي المهمة، تغدو الأجيال التي تتوالى في إيروس شيئاً فشيئاً مهووسة بإبقائه شغّالاً، مهووسة إلى حدٍّ أنها تنتهي بنسيان هدف المهمة. وهكذا، ومع الاقتراب من بروكسيما سنتوري، يُتَّخذ القرار بعدم إيقاف السفينة، وباستمرار الرحلة في الفضاء بين النجوم. بعدَ عِدّة عقود، نجح زوجان في كسر "محظور" الفصل بِين المجموعتين وولَدا أوّل طفلٍ "فائق الذكاء". وانتهى هذا باكتشاف الأسرار الألفية والمنسية لسفينته - العالم، والتوصُّل إلى إقناع الآخرين بأن هدفهم صار خلفهم. تعود إيروس على أعقابها، وفي النهاية، تكتمل مهمّتها التي تمَّت برمجتُها مسبقاً على الأرض قبل عدّة قرون.

استكشفَ العديد من المؤلفين الآخرين موضوع سفينة الأجيال، حتى إنَّ الشاعر السويدي "هاري مارتان سون"، الحاصل على جائزة نوبل للآداب، استلهم منها قصيدة، أنيارا الملحميّة. وعلى نحوٍ عام، يظلُّ موقف مؤلفي الخيال العلمي، بالأحرى موقفاً يائساً: مُهمَّات السُّفن ـ العوالِم لا تُفلح إلا نادراً في تحقيق أهداف مُصمِّميها، وغالباً ما تُفضي إلى كارثة. تمنحُ هذه النظرة المتشائمة مزيداً من احتمالات حبكة مأساوية، لكنها لن تكون بالضرورة واقعية. وفي وسعنا تماماً أن نتصوَّر هذه المجتمعات وهي تتطوَّر في حالٍ من الاستقرار، مُظهرةً في الوقت نفسه، الحيوية والإبداعية الضروريتين.

بغية تلافي المشكلات التي يُثيرها "تحجُّر" مجتمع مُنطوٍ على نفسه خلال قرون، تمَّ اقتراح المباشرة بهذا النوع من الرحلات البطيئة بمساعدةِ أسطولٍ من السفن ـ العوالم المستقلّة، لكن المتَّصلة فيما بينها. نُشِرَ هذا الاقتراح للمرة الأولى في العالَم، والجسد والشيطان، لكن لسبب مختلف بعض الشيء. ذلك أنَّ "برنال" يريدُ أن يتجنَّب خطر فساد الأصل الوراثي الذي يُسبِّبه التناسل في وسطِ مجموعة بشرية محدودة العدد. وكان يعتقد أن تهجين سكان السفن ـ العوالم يمكن أن يمنع فساد الأصل الوراثي. يبدو هذا الخطر ضئيلاً اليوم، لأنَّ معرفة جهازنا الوراثي ستتيح، بلا شك، القضاء، بشكلٍ فعَّال، على هذا النوع من المُعضلات.

ثمّة سؤالٌ آخر، ذو طابع أخلاقي، طرحه مؤخَّراً "إدوارد ريجيس" الابن، أستاذ الفلسفة في جامعة هارفارد. على الرغم من أن السُّفن الفضائية مُريحة، فلن تكونَ على الإطلاق نسخة كاملة عن "سفينة" الأرض. فَبأي حق ينجبُ رواد الفضاء المرتحلون أطفالاً محكوم عليهم بأن يقضوا حياتهم كلّها في بيئةٍ مُغلقة، ولا يعرفوا أبداً سحر السماء المفتوحة، وباقي عجائب كوكبنا الأزرق ؟ ومع ذلك، يخلُص "ريجيس" إلى أن هذا ليس إلا مشكلةً مصطنعة. فالأرضُ، على كل حال، بعيدةٌ البعد كلّه عن أن تكونَ جنةً؛ إذ إنَّ فيها مناطق بأكملها تعاني من الحرب،

والجوع، والأوبئة، أو، من التلوث؛ وعلى الرغم من ذلك، يولد أطفالٌ في كلّ يوم، وينطلقون في رحاب الحياة. ممّا لاشكَّ فيه أنَّ سفينة الأجيال ستكون أفضل من جهَّنم، ولكنها لا يمكن على الإطلاق أن تكون الجنة...

بدو الفضاءات بين النجمّية

تدفع مصاعبُ بناء السفن النسبوية، كما المشاكل التي يطرحها تمدُّد الزمن النسبوي أمام رواد فضاء المستقبل، إلى التفكير بأنَ استيطان المجرَّة سيتمُّ على الأرجح من خلال هجرة بطيئة للسفن ـ العوالم في الفضاءات بين النجمية. قبل مباشرة هذا النوع من الرحلات، سيكون النوع البشري، بالتأكيد، قد استوطن باقي المجموعة الشمسية، ومن ضمنها حزام الكويكبات وسحابة مذنَّبات أُورت (الفصل الأول). وعلى مرِّ الزمن، سوف تتناقص الروابط "العاطفية" لسكان هذه العوالم الجديدة شيئاً فشيئاً مع الكوكب الأم. وحتى الشمس، البعيدة والباردة في سماء مستوطني المناطق البعيدة القاتمة، سوف تقِلّ أهميّتها في نظرهم. إذ ستكون احتياجاتهم من الطاقة مغطاة على الأرجح بواسطة اندماج نووي حراري مضبوط. وستتوفر المادّة القابلة للاحتراق الضرورية، أي الهيدروجين الثقيل، والهليوم-3 في المناطق الخارجية للمجموعة الشمسية، حيث توجد أيضاً كل المواد الأولية التي لا يمكن الاستغناء عنها (الماء، والفحم، والنتروجين والأكسجين والمعادن). وهكذا، ستتمكّن هذه العوالم المصغَّرة من أن تكون، في يومٍ من الأيام، مستقلة تماماً.

من الممكن أن يجعل الاستقرارُ التدريجي للمستوطنات الحديثة في هذه المناطق البعيدة التزوُّد بالوقود والمواد الأولية أكثر صعوبة. إنَّ بعض هذه العوالم المصغَّرة ستختار، على الأرجح، تحت هذا الضغط السكاني، أن تترك هذه المجموعة الشمسية وتسلك طريق النجوم. لن يتعرض سكانها للمشاكل النفسية الموصوفة في الأقسام السابقة، لأنهم يسافرون تحتَ قُبَّة السماء نفسها، وفي

العالم الذي طالما عرفوه، وليس داخل سفينةٍ قاسية. وستمنحهم شمسهم الاصْطناعية من الضوء والحرارة قدراً أكبر بكثير مما توفِّره شمس سكان الأرض.

تحت ضوء النجوم النائية، الجامد، تبتعدُ هذه العوالم السائرة على غيرِ هُدى ببطء عن الشمس. تقضي عقوداً قبل أن تترك سحابات المذنّبات التي تطوقُ مجموعتنا الشمسية على مسافة بضعة مليارات من الكيلومترات من الشمس. ثُمّ، تتابع رحيلها، خلالَ قرونٍ طويلة، في رَحابةِ الفضاء بين الكوكبي، في اتجاه نجم قريب. ولا بُدّ أن يكون تـزوُّدها بالمادّة القابلة للاحتراق، والمواد الأولية كافياً، لأنها لا يُمكن أن تُراهِن على لقاءٍ طارئ مع كوكبٍ آخر.

ومع اقتراب مستوطني ما بين النجوم من نجمهم المقصود، سيكون همُّهم الأوَّل أن يُحدِّدوا موقع الشهب والكويكبات، وبقايا مكونات المنظومة الكوكبية، وذلك لكي يتزوَّدوا بالمؤن من جديد. وعلى نحوٍ غريب، لن يكونَ لاكتشاف الكواكب حول النجم من أهميّة تُذكَر في نظرهم. لأنَّ التغلُّب على بئرِ جاذبية الكوكبِ بُغيةَ نقلِ مواد سطحه إلى الفضاء يكلّف من الطاقة أكثر ممّا يُكلِّف استثمار كويكب (الفصل الأول) إذ لن يستطيع أن يجذبهم إلَّا كوكب وحيد تشبه ظروفه المناخية ظروف الأرض العجوز (وهذا احتمال نادر على الأكثر). يختار بعض المستوطنين الإقامة على سطحه حيث يشرعون في بناء حضارة كونية جديدة، جرياً على عادة أجدادهم القدماء في الأرض. وفي نزر كثيرينَ آخرين، يَظْهَر سَطْح أيّ كوكب، مع تقلباته الجوية وتعرُّضه لأخطار الفضاء (تصادم مع نيازك، وكويكبات، إلخ.) هشاً وقاسياً. لذا فهم يفضلونَ، بحكم تعوُّدهم على استقلاليةِ شرنقتهم الواقية، أن يُكملوا العيش فيها، في مدارٍ حولَ النجم الجديد.

بعد عدة قرون، يُقرِّر بعض المستوطنين أن يغادروا منظومتهم النجميّة ويُهاجروا إلى نجمٍ آخر، يقع على مسافة عِدّة سنين ضوئية. ومن المحتمل أن يتكرر السيناريو نفسُه عشرات آلاف المرات. وهكذا بارتحالهم من نجمٍ إلى آخر،

يستوطن أحفادُ سكان الأرض الفضاء القريب، ثُمَّ المناطقَ البعيدة فالأبعد. وربَّما، بعد مئات أو آلاف القرون من الآن، يجوب أسطولٌ مُتعاظِم من السفن ـ العوالم فضاء ما بين النجوم.

حضارةٌ مجرّاتية

يُمكن أن تبرز ثلاثة نماذج من الحضارة في المستقبل البعيد. حضارة النموذج الأوّل، على الأرجح، "كلاسيكية"، تختار مقرَّها على سطح الكواكب المشابهة للأرض، التي تمتلك وسطاً طبيعياً أو صناعياً (تمَّ توفيره عن طريق تأهيل الكوكب، انظر الفصل الأول)، بينما تُقيم حضارة من النموذج الثاني، في كويكباتٍ ومذنباتٍ لا تُحصى، تدور حول النجوم، مستخدِمة الطاقة التي تستخرجها من هذه الأخيرة، والمواد الأولية التي تتوفَّر في الجوار. على حين أنَّ حضارة النموذج الثالث، تفضِّل مغامرة الفضاءات بين النجميّة الشاسعة، على مَتْن السفن ـ العوالم المجهّزة بشكلٍ جيد. هذا النموذج الأخير من الحياة يجذب الأفكار الأكثر استقلالاً، التي تُعادي أيّة فكرةٍ تتّصل بمراقبةِ سلطةٍ مركزية.

هذه الرؤية للمستقبل البعيد، المحددة مسبقاً في أعمال "تسيولكوفسكي" و"برنال"، يمكن أن تبدو ساذجة، إلا أنّها معقولة أيضاً كأي منظورٍ خيالي من منظورات خيال النوع البشري الأخرى. لكنْ ثمّة، في مُقابِل ذلك، رؤيةٌ أخرى، عزيزة على مؤلِّفي الخيال العلمي، تبدو غير معقولة على الإطلاق: وجود مركز سلطة يمارس سيطرته على مناطقَ تقع على مسافة عدَّةِ مئات، وربما عِدّة آلاف السنين الضوئية. فالوقت اللازم للاتصال بين هذه المناطق المتباعدة والمركز، سيجعلُ تلاحُمَ "إمبراطورية بين نجميّة" أمراً مستحيلاً. إذاً إنَّ إمكانية الرحلات فوق الضوئية فقط هي التي ستسمحُ بتخطِّي هذه الصعوبة.

يجِد مفهومُ إمبراطوريةِ المَجَرَّة أفضل إيضاحٍ له في العمل المشهور "مؤسسة"، *الذي هو على الأرجح مؤلِّف الخيال العلمي الأكثر شُهرةً للكاتب*

"إسحق عظيموف". فحوالي سنة من عصرنا، قد تسمحُ الرحلات عبرَ الفضاء مُتعدِّد الأبعاد بخلق إمبراطورية مَجرَّاتية تشمل مليون عالمَ، يسكنها أحفاد سكّان الأرض. تصِف الأجزاءُ الأربعة من مؤلِّف عظيموف هذا، سقوطَ إمبراطورية ترانتور (اسم الكوكب - العاصمة)، وعصور الظلام، والفوضى، والتدهور التي تبعتها، ثم تصف الجهود التي بذلتها مؤسَّستان متعاقبتان (الملاذان الأخيران للحضارة، على كواكب بعيدة) لكي تبعث الإمبراطورية إلى الحياة. لقد استلهم عظيموف قصّته، على ما يظهر، من سقوط الإمبراطورية الرومانية، ومن عصور الانحطاط الطويلة التي تبِعته. غير أنَّ اكتِشافه الأكثر أهمية هو "علم نفس التاريخ"، وهو علمٌ افتراضي عن المستقبل يقوم على الرياضيات، والتاريخ، وعلم النفس وعلم الاجتماع. يسمحُ التحليل النفسي - التاريخي بالتكهن بسلوك عدد كبير من الأفراد، وربما بسلوك مجتمعات بأكملها، عبرَ آلاف السنين. وبفضل هذا التحليل، يتوصل علماء ترانتور إلى توقُّع سقوط إمبراطوريتهم. ولمَّا كان أوانُ منعِه قد فات، يعكفون على تجهيز الخطة الألفية لبعثِها بفضل هاتين المؤسَّستين. نأمل أن يبقى "علم نفس التاريخ"، أو أي "عِلم" آخر من هذا النوع، وهمياً بشكلٍ دائم. إذ يُمكن أن يولِّدَ ظهورُه نتائجَ سيئة جداً، تُتيح للأخ الكبير المستقبلي أن يحتفظ بسيطرته على المجتمع طيلة قرون من الزمن...

يثيرُ تطوُّر النوع البشري في مجموعاتٍ نجميةٍ أخرى، أو في فضاء بين نجمي، سؤالاً أكثرَ أهميةً من ذلك المتعلق بإمبراطورية مَجرَّاتية: فماذا يُمكن أن يكونَ التطور المستقبلي للإنسان، الذي عاش دهوراً في بيوتٍ معزولة، يختلف واحدها عن الآخر اختلافاً كبيراً؟ لا تسمح لنا معارفنا الحالية بالإجابة على هذا السؤال. ذلك أنّ نظرية تطور الأنواع، التي أثبتها "شارل داروين" و"ألفرد والاس" وعدَّلها لاحقوهما بشكلٍ كبير، توحي بأنَّ هذا التطور ناتج جوهرياً من "لعبة" عاملين أساسيين: التغيرات الآنية للجهاز الوراثي، وتأثير البيئة التي تساعد بعض الأنواع على حساب الأخرى. ومع ذلك، لا تنطبق النظرية بشكل حتمي على التطوُّر المستقبلي للنوع البشري، وذلك لسببٍ بسيطٍ للغاية. إذ طوَّر

الإنسان المُنتصِب، على عكس كلِ الأنواع المعروفة، حضارةً تقنية تجعله اليوم قليل التأثُّر بضغط بيئته. وبَدَلاً من أن يكون الإنسانُ متأثراً بوسَطه الطبيعي، فهو يطوِّره ويُكيِّفه وفقاً لاحتياجاته، وهدفه النهائي هو السيطرة عليه سيطرة كاملة. وإذا لم ينجح، سيكون من المستحيل عليه ظاهرياً أن يبني السفن ـ العوالم، وأن يُفكِّر بشكل جدِّي بانتشاره في المجَرَّة. غيرَ أن السيطرة على البيئة سَتُثبِّط، لأول مرةٍ في تاريخ الحياة، آلية الانتقاء الطبيعي. وحينئذٍ، يستطيع النوع البشري أن يتطوَّر دونما تغيير كبير، إلى حدٍّ بعيد بُعْدَ إمكانية توقُّعه، حتى في بيئات شاقة للغاية.

ناقش "فريمان دايسون" هذه الأفكار في كتابه "لانهاية في جميع الاتجاهات"، وفيه توقَّع مستقبل النوع البشري في المَجَرَّ، إذ يقول:

"... ثمّة شيءٌ وحيد مؤكد. هو أنَّ تطوُّر الحياة في الكون سيكون كما هو على الأرض، ستظهر أشكالٍ غريبةٍ وغير محتملة، وسيعمُّ المزيد من الرخاء والتنوُّع... وعندما ستنتشر الحياة في الكون، وهي تتكيَّف مع اختلافٍ بيئي أكبرُ مما هو على الأرض، سيجدُ النوع البشري نفسه، ذات يوم، في مواجهة إحدى المُعضِلات الكبيرة التي لم يجابهها أبداً منذ أن نَزَل الأجداد من الأشجار في أفريقيا.... وسيتحتَّم عليه الاختيار بين البقاء نوعاً يوحِّده شكل الجسم، والتاريخ المشترك، والتنوُّع كما تفعل الأجناس الأخرى من النباتات والحيوانات. فهل سنبقى إلى الأبد نوعاً واحداً، أم أننا سوف نصبحُ ملايينَ من الأنواع الذكية نستكشِف طرائق العيش المتنوِّعة في ملايينَ البيئات المختلفة من المجرّة؟ هذا هو السؤال الكبير الذي يجب أن نواجهه ذات يوم. ومن حسن الحظّ أنَّ مسؤولية القرار ليست مُلقاةً على عاتقِ جيلنا..."

استيطان المَجَرَّة

تثيرُ اعتبارات القسم السابق سؤالاً آخر مُهماً أيضاً (لأسباب سوفَ تُصبح

واضحة في بقية هذا الفصل) : إذا ما توصَّلَ النوع البشري إلى السيطرة على الأسفار بين النجوم، سواء أكانت أسفاراً بطيئة أم سريعة، فكم من الوقت سيلزمه لكي ينتشر في المجرّة ويُقيم فيها، حتى في المناطق الأكثر ابتعاداً؟

إنَّ من الصعب طبعاً أن نُقدِّم جواباً معقولاً على هذا السؤال. لأنَّ هناك حدّاً أدنى يفرضه حجم مجرَّتنا، الذي يبلغ قطر قرصها مئة ألف سنة ضوئية تقريباً (انظر الشكل 2-2). فعبور درب التبانة، حتى في سفنٍ نسبوية، تنطلق بسرعةٍ قريبةٍ من سرعة الضوء، سيتطلَّب ببساطة مئات السنين الضوئية. ومع استخدام سفن ـ عوالم بطيئة، تبلغ سرعتها بعض الأجزاء من الألف من سرعة الضوء، يصبحُ الزمن اللازم لعبور المجرَّة أطول مئات المرَّات تقريباً، من مدّة تُقدَّر بعشرة ملايين سنة. سيكون الزمن المطلوب لاستيطانها أطول حتماً، ولكن بِكَمْ من الزمن؟

لتقدير الزمن اللازم لاستيطان المجرَّة المزعوم، لجأ بعض العلماء إلى طرقٍ كمية، مُستلهَمة من ديموغرافيا مجموعاتٍ حيوانية وبشرية. الفكرة الأساسية بسيطةٌ جداً. في مكان ما، يزداد عدد سكّانَ نوع مُعيَّن ازدياداً أُسيّاً (بمعدّلِ نموٍ ثابت كلّ سنة) مادامت موارد بيئته تسمح له بذلك. وحينما تصل هذه الموارد إلى أقصاها، يجب أن يستقرّ عدد السكان، إمّا بتخفيض معدّل نموّهِ إلى الصِّفر، وإمَّا بمغادرة الفائض من المجموعة إلى أراضيَ أخرى. يستقرّ هؤلاء المستوطنون المُغادرون أبعد قليلاً، هناك حيث يجدون ما يكفي من الموارد. ويزداد عدد سكّانهم المحليين من جديد، ازدياداً أُسيّاً، حتى يصل إلى إشباع المنظومة (البيئية)، ويبدأ السيناريو من جديد. وهكذا تُخلَق، على هذا الشكل، جبهة استيطانية حول المسكن الأول، وتتوسَّع باتجاه الخارج، حيث تخترق كلٌّ مجموعة جديدة من المستوطنين أراضي غير مأهولة. يمكنُ وصف انتشار هذه الجبهة الاستيطانية بمساعدة نماذجَ رياضية.

تَمَّ تطبيق نماذجَ من هذا النوع، بشيءٍ من النجاح، على انتشار المجموعات

الحيوانية أو البشرية في أوساط بيئية مختلفة. ممّا لا شكَّ فيه أنَّ استيطان بعض الجُزر في المحيط الهادئ، من بين العديد من حالات انتشار المجموعات البشريه، هو الذي يمثل أكثر أوجُه الشبه مع الاستيطان المجرّاتي المحتمَل : فقد استغرق شعبٌ من المغامرين الذين يستعملون الابتكارات التقنية، عدَّة قرون لعبور المحيط الشاسع، واكتشاف الجزر البكر التي استقرَّ فيها.

بدأت القصّة الملحميّة لهذه المغامرة الاستثنائية من حوالي 3000 سنة قبل الميلاد. حيث بدأ سكان السواحل الجنوبية الشرقية من آسيا، وبمساعدة قواربَ بسيطة، بعبور مياه أرخبيل الفيليبين. وبعد بضعةِ قرون، استقرّوا على السواحل الشمالية لغينيا الجديدة، ثُمَ على عددٍ كبير من الجزر الصغيرة لأرخبيل بسمارك، إلى الشرق قليلاً. وبعدَ مرور خمسة عشر قرناً تقريباً، شرع جزءٌ من هذه المجموعة في هجرةٍ بطيئةٍ باتجاه الشرق، بموازاةِ سلسلة جبلية في جُزر أكثرُ بعداً. قادتهم هذه الهجرة، بعدَ حوالي ستّة أجيال، إلى أرخبيلات فيجي، وتونجا، وساموا، على بعد كيلومتر إلى الشرق تقريباً. كان على هؤلاء المهاجرين، لكي يُواجهوا إتساع المحيط، أن يبتكروا الزورق "ثنائي البدن" (زورقان بسيطان متَّصلان)، الأكثرُ استقراراً من زوارقهم السابقة. استغرقَ استيطان هذه الأرخبيلات الواسعة، التي شكلت الموطن الحقيقي للثقافة البولينيزية، عدَّة قرون. وبعد مُضيِّ قرن أو اثنين من عصرنا، قام بَعضٌ من هؤلاء البولنيزيين، مستخدمينَ الزوارق الثنائية البدن الموسَّعة وتقنيات إبحار أكثرَ تطوُّراً، بقفزةٍ أكبر نحو الشرق، لكي يُقيموا في جزر أرخبيل الماركيز، وتاهيتي، في قلب المحيط الهادئ. من هنا بدأت الموجة الأخيرة من الاستيطان الذي وصل حتى جزر هاواي شمالاً، ونيوزيلاندا جنوباً، وجزيرة الفصح شرقاً، بعد أربعة أو خمسة قرون. وهكذا، بعد حوالي عشرين قرناً بعد مغادرة أرخبيل بسمارك، استوطنَ أكبرُ البحّارة في التاريخ كامِلَ جزُر المحيط الهادئ تقريباً.

ما من شكٍّ في أنَّ الملحمة البولينيزية مدهشة، لكنّنا نستطيعُ التساؤل عمّا

إذا كانت هناك حقّاً علاقة بينها وبين استيطان المجرَّة المحتمَل. فمهما كانت المسافات طويلة بين جزر المحيط الهادئ، لا يُمكن أن يتطلّب عبورُها أكثر من عدة أسابيع من السفر، حتى بواسطة مراكِب بدائية. أمّا عبور المحيط بين النجوم، خلال عدّة أجيالٍ كاملة، هو بحق قصّة أخرى ... كما يمكننا أن نتساءل عمّا إذا كان الضغط السكاني، العامل الأساسي في استيطان المحيط الهادئ، سيأخذ دوراً يُعادل في أهميّته دور العامل الأساسي في استيطان المجرَّة. وفي وُسعنا أن نتصوَّر أن المجتمعات المستقبلية قادرةً على تأمين استقرار سكّانها قبل أن تبلغ حدود إشباع بيئتها...

ومع ذلك، ألهمت ملحمة المحيط الهادئ بعض العلماء، مثل رائدَي الفضاء "كارل ساغان" و"وليام نيومان" أو "إيريك جونز" أيضاً، هؤلاء الذين طبّقوا نماذجَ متطابقة مع استيطان المجرَّة. وفق هذه النماذج، تستند سرعة جبهة الاستيطان على متوسط المسافة D بين مستوطنتين، الزمن T_D اللازم للاجتياز والزمن T_C المطلوب حتى يبلغ سكّان كلٍّ مستوطنة جديدة درجةَ الإشباع. تحتَ هذه الافتراضات البسيطة، تنتج سرعة انتشار الذروة، بصورة جوهريّة، من ($V=D/T_D+T_C$؛ فكلما كان زمن الرحلة أو الإشباع كبيراً، كانت سرعة المقدِّمة أكثر ضعفاً، وسرعة الانتشار أكثر بطئاً. وتجدر الإشارة إلى أنَّ الزمن الأطول (T_D أو T_C) هو الذي يسيطر على حركية التوسُّع ويحدد سرعة مُقدِّمة الاستيطان.

تبلغ المسافات بين النجميّة، بصورة نموذجية، عدّة سنوات ضوئيّة.. وتستغرق سفينة بُطيئة عدة ألفيات لكي تقطعها. إذا كان الوقت الضروري لاستيطان المجموعة النجميّة والتحضير لرحلةٍ جديدة، أقلّ من ألف سنة، ستكون سرعة مُقدِّمة الاستيطان سنة ضوئية لكل ألف سنة. وبهذه السرعة، ستكون مئة مليون سنة تقريباً قد انقضت قبل أن تصل موجة الاستيطان إلى الأجزاء القصوى من المجرّة. قد تبدو هذه الفترة طويلة، لكنها لا تمثّل إلا واحداً في المئة تقريباً من عمر درب التبّانة، الذي يُقدَّر بأكثر من عشرة مليارات سنة.

آلات (روبوتات) "فون نيومان"

يفترضُ سيناريو استيطان المجرّة الذي تمَّ عرضُه في القسم السابق أنّ أجيال المستوطنين المتعاقبة ستحتفظ بروح أجدادها المُغامِرة حتى عشرات ملايين السنين. والحالُ أنَّ من السهل أن نتصوُّر توقُّف موجة الاستيطان بعد زمن مُعيّن. وقد تتطوَّر حضارةُ بعض المستوطنات باتجاهٍ مختلفٍ جداً عن اتِّجاه التطوُّر التقني والنمو الدائم. يُمكنها أن تتوجَّه على الأرجح نحوَ تطوُّر روحاني لا يكترث بالحاجة إلى التوسُّع في الفضاء. ومن جانبٍ آخر، يُمكن أن تُدمَّر مستوطناتٌ أخرى كليّا باستخدام أسلحة الدمار الشامل، أو نتيجة كارثة كونية لا يمكن تفاديها (كانفجار نَجْم قريب، كما سوف نرى في الفصل القادم).

في عام 1960، أوحى عالِم الإشعاع الفلكي "رونالد براسوِيل"، بأنَّ الاستيطان المجَرَّاتي ما كان يمكن أن يخضع للمخاطر المذكورة آنفاً فيما لو أنجزته الروبوتات، وليس البشر. وبعد عشرينَ عاماً، اقترَحَ عالم الرياضيات الأميركي "فرانك تيبلر" نوعاً خاصّاً من أجهزة الإنسان الآلي، مزوَّدة بقدرَةٍ تملكها الكائنات الحيّة وحدها اليوم: إنّها القدرة على التوالُد. هذه الروبوتات معروفة باسم " آلات فون نيومان"

كانَ "جون فون نيومان" واحداً من كبار علماء الرياضيات في هذا العصر. ولِكونه من أصلٍ مَجري، هاجرَ خلال الثلاثينيات إلى الولايات المتحدة الأميركية حيثُ عمل على صناعةِ أولَّ حاسوبٍ وأول قنبلةٍ نووية. وفي عام 1951، تخيَّلَ نموذجاً رياضياً مهماً، مبيّناً أنَّ من الممكن صناعة آلة معقّدة إلى حدٍّ يكفي لكي يجعلها قادرةً على إنتاج نسخة مُطابقة لها. تتكوَّن هذه الآلة (المتوالدة، التي تُنتج ذاتها) ذاتيّة الإنتاج، بشكل أساسي، من قسمين: "الصانع" و"برنامج" الإنتاج. أمَّا الصانع فهو آلة قادرة على تحويل المادة الخام، وعلى إعطائها الشكل الذي تمليه عليها تعليمات البرنامج؛ فإذا كان قادراً بصورة مُطلقة على أن يصنع كلَّ شيء، حمل اسم "الصانع العالمي". وأما البرنامج، فإنه يحتوي على كامل

التعليمات اللازمة لصنع نِسخةٍ مطابقةٍ عن الآلة. في مرحلة أولى، يخترع الصانع نسخةً مطابقةً له (آلة "غبية"). ويُضيف إليها، بعد ذلك، ودائماً باتّباع التعليمات، نسخة مُطابِقة من البرنامج. وتكون النتيجةُ آلةً مُتطابقة مع الآلة الأصلية وقادرة، بدورها، على إنتاج نفسها بنفسها (بشرط أن تَجد الموادّ اللازمة في جوارها).

آلة "فون نيومان" هذه هي اليوم مفهوم نظري خالص. ونحن نجهلُ كيف نصنعها، ولن نتمكّن من صناعتها قبل عِدّة قرون. لكنَّ الشيء الوحيد والأكيد هو أنَّ تعقيدها سيفوقُ إلى حدٍّ بعيد تعقيد الفيروس الخاص (وهو كائن يُصنَّف بين الحيّ والجامد). فالواقع أنَّ هذا الأخير يستخدم، لكي يتكاثر، بعض خلايا جهازه المُضيف، مما "يسهِّل" له المهمة قليلاً. إذاً يتوجب على آلة فون نيومان أن تصنع أجزاء نسلها كاملةً، من الألف إلى الياء. كما يجب أن يحتوي برنامجها، بحسب بعض التقديرات، على عدة عشرات الملايين من التعليمات. ومع ذلك، فالتقدم في مجالات تقنيّة الصناعات الدقيقة النانوية، والهندسة الجزيئية، يدَعنا نفكِّر بأنَ وزنه سيكون أقلّ بكثير من التقديرات الأولية التي هي ألف طنّ.

قَدَّر "تبلر" أن على حضارة متطورة تماماً من الناحية التقنية، أن تكون قادرةً على صُنع هذا النوع من الآلات التي تُنتج ذاتها. وحينئذٍ تتمكّن من استخدامها في البرنامج طويل الأمد للاستيطان المَجَرّاتي، البرنامج الأقلّ تطلُّباً، بما لا يُقاس، من الاستيطان البشري. وفي الحقيقة، تستطيعُ الآلات تنفيذ الرحلات بين النجميّة من دون الحاجة إلى جوٍّ تنفُّسي، وإلى الغذاء. فما إن تصل إلى داخل المجموعة النجمية المقصودة، حتى تستخدم مواد الكويكبات لكي تصنع عدة نسخٍ عن نفسها، وعدداً متكافئاً كذلك من السفن بين النجميّة. تنطلقُ من كلِ مجموعة نجميّة عدّة آلات في اتّجاهات أقلُ بعداً. بينما تنشغل "الروبوتات ـ الأم"، بمجرَّد انطلاق ذُريّتها، بالاستكشاف المُفصَّل للمجموعة النجميّة، وببثّ معطيات رصْدها إلى الأرض.

هكذا تنتشر موجةُ الروبوتات التي تُنتج ذاتها شيئاً فشيئاً في المجرّة بأكملها. وعلى افتراض أنّ كلّ روبوت يُرسل نُسختين فقط باتجاه المجموعات بين النجمية المجاورة، سنرى أنّ روبوتاً سيدور حول كل واحد من المئة مليار من نجوم مِجرّتنا، بعدَ ستة وثلاثين "جيلاً" فقط. عندئذٍ لابدّ من أن يتوقّف تكاثُرها، وإلا فإنَ الآلات ستستحوذ، بعد عدة أجيالٍ إضافية، على المواد الثقيلة كلّها في المجرّة. إذاً يجب أن يتضمَّن برنامج أجهزة الروبوت هذه ("الرمز الوراثي") أمراً يُدخِله مُصمِّموها الأوائل مسبَّقاً، ويُنقَل من جيلٍ إلى جيل، لكي يُسبِّب عُقم الجيل السابع والثلاثين من الروبوتات.

الزمن اللازم لاستيطان المَجَرّة بواسطة الروبوت يعتمدُ خاصةً على سرعة السفن بين النجميّة التي تنقلها، لأنّ زمن صناعة آلات جديدة لن تكون له، بالقياس إلى غيره، أهمية تُذكَر. إذ يمكن أن يستغرق زمن الاستيطان، مع سرعة 0.1c، بضعةِ ملايين سنة "فقط"، بينما قد يستغرق، بالقياس إلى السفن البطيئة، حوالي مئة مليون سنة. وبعد هذه المدّة، سيكتسب أحفادُ مصمِّمي البرنامج على الأرض. معرفةً تامّة ومفصَّلة لمجموع نجوم درب التبّانة، من دون أن يضعوا أقدامهم خارج المجموعة الشمسية. إنّما الأمرُ الأكثرُ استثنائيةً أيضاً هو تكلفةُ العملية التي تقتصِر على صُنع الآلة الأولى وإطلاقها!.

الجدَل حول "تعدّدية العوالم"

يبدو أنَّ السيناريوهات التي تمَّ تطويرها حتى الآن فقط تشير إلى أنَّ حضارةً تُتقِنُ الأسفار بين النجمية تَستطيعُ استيطان كامل المَجَرَّة في زمنٍ يُقدَّر بنحو 100 مليون سنة على الأكثر، أي خلالَ جزءٍ قليل من عمُر المجرَّة.

إلا أن شمسنا لم تصل إلا متأخرة نسبياً إلى المشهد الكوني، أي منذ 4.5 مليارات سنة تقريباً من الآن. عدّة أجيالٍ من النجوم سبقت ولادتها خلالَ الاثني عشرَ مليار سنة من تاريخ مَجَرَّتنا: ربما ولدَت، حولَ بعضٍ منها، أشكالٌ أخرى

من الحياة، تطوّرَ بعضها في حضارات تقنية قادرة على الشروع في أسفارٍ بين نجميّة. وها هو الفيزيائي الإيطالي "إنريكو فيرمي" يتساءل عام 1950، ملخِّصاً بجملةٍ واحدة غدت مشهورة منذئذٍ، أحدَ أقدَمْ تساؤلات البشريّة : إذا كان الأمر كذلك، "فأينَ هم؟" أولئك الذين بنوا تلك الحضارات. وفي الواقع فإنَّ إحدى هذه الحضارات على الأقل كان ينبغي أن تصل إلينا (بسبب السرعة المزعومة للاستيطان المجرّاتي) وتترك بصمات وجودها. ألا إنَّ غياب آثار حضارةٍ فضائية في مجموعتنا الشمسية يضع موضع التساؤل نقطةً أو عدة نقاط من الاستدلال الآنف.

من بين جملة الأسئلة التي يطرحها الإنسان على نفسه حولَ الكون، ذلك الذي يخصُّ إمكانيّة وجودِ شكلٍ لحياةٍ (أو شكل لِحضارة أيضاً) فضائية، هو الاحتمال الأكثر إثارة. لن نستطيع اليوم أن نجيب على ذلك، لكننا نستطيع أن نتخيل آثارها في الجنس البشري، وفي مستقبله في الكون.

يعودُ تاريخ الجدَل حول تعددية العوالِم إلى خمسة وعشرينَ قرناً على الأقل، ويرجع تحديداً إلى مفكِّري اليونان القديمة. من المثير للاهتمام تعقب تاريخ هذا الجدل لنرى كيفَ تطورت حُجَجْ الطرفين على مرِّ الزمن، وكيف كانت، في كلِ مرّة، تتكيَّف مع التطوُّر العلمي في ذلك الوقت.

كانت كلمة "عالَم"، في العصور القديمة، تُطابق الصورة التي تخيَّلها "أرسطو" و"بطليموس" عن الكون: أرض في المركز، يُحيط بها القمر، والشمس، وكواكبُ ونجومٌ بعيدة. إذ تشيرُ تعددية العوالم إلى وجود العديد من هذه العوالم، قائمة بذاتها، ومستقلة مع أرضٍ"مأهولة" في مركز كل عالَم.

يؤمنُ معظم المفكِّرين القدماء بتعددية العوالم (الفلاسفة السابقون لسقراط؛ كـ"طاليس" و"هيروقليطس"، والفيثاغورثيين؛ والذَّرّيين كـ"ديموقريطس" و"لوسيب"، والرواقيّان "أبيقور" و"لوقريطس"، وآخرون). تستندُ حججهم

جميعاً على فكرة أن الكون واسع (لانهائي على الأرجح) من جهة، وتستند من جهةٍ أخرى على "مبدأ الامتلاء" الذي يفترض أنَّ كلّ ما يُمكن أن يوجد فيزيائياً، يجب أن يوجد في مكانٍ ما. لقد تمثّلت هذه الحجج بأفضل صورة في العِبارة الشهيرة التي قالها "ميتودور"، تلميذ "أبيقور" : *من غير المعقول أن نتصوّر حقلاً من القمح بسنبلة واحدة، وعالَماً وحيداً في هذا الكون الواسع*". تكرَّرت هذه الحجّة عبرَ القرون عن طريق أنصار فكرة الحياة الفضائية، تحت أشكالٍ لاتختلف جوهرياً عن صياغتها الأولية.

غيرَ أن "أفلاطون" و"أرسطو"، أعظم مُفكِّرَين في العالَم القديم، يُعارضان هذه الفكرة. فبحسب فيزياء أرسطو، ليس ثمّة إلا أرضٌ واحدة، في وسَطِ كونٍ متناهٍ. ينقسمُ الفضاء الذي يُحيط بها إلى جزأين : عالَمٌ تحت قمري، يتكوَّن من تركيباتٍ غير مستقرة من أربعة عناصر (النار، والهواء، والماء، والتراب)، وهو عالَم ناقص يخضع للتغير؛ وعالَمٌ نجمي (يشمل الشمس، والكواكب، والنجوم البعيدة)، وهو عالمٌ كامل، أبَديّ ولا يتغير، يتكون من مادةٍ واحدة هي الأثير. وإذا ما وُجِد هناك، فيما بعد طبقة النجوم، أرضونَ أُخرى، فسيتجاذب بعضها مع بعضها الآخر، وتهبط كلّها باتِّجاه مركز الكون. ومن جهةٍ أخرى، كان الفراغ الذي يفترض أن يفصل هذه العوالم مفهوماً غريباً عن فيزياء أرسطو.

لقد هيمنَ التصوُّر الأرسطي للكون، الذي تمَّت دراسته ضمن منهجٍ مترابط في أعمال الفلكي "كلود بطليموس"، على الفكر الغربي طيلةَ خمسة عشر قرناً، وصولاً إلى "كوبرنيكوس". اهتمَّ مُفكِّرو القرون الوسطى أيضاً بمسألة تعددية العوالم وأضافوا حججاً نظريةً إلى حجج أرسطو الفيزيائية. وهكذا، رَفَضَ القديس "أوغسطين" فكرة تعددية العوالم في القرن الخامس. ذلك أنَّ الحدث الوحيد الذي يمثله تَجَسُّد المسيح يستلزم، في رأيه، وجود عوالم أخرى مأهولة. كانت حججُه بالطبع مُضمَّنة بمفهوم المركزية البشرية للمسيحية، التي تقول بأنَّ الكون كلُّه إنَّما خلِقَ من أجل الإنسان.

ومع أنَّ "ألبير الكبير" (ألبرتوس ماغنوس) كان مُتَّفقاً مع القديس أوغسطين، إلا أنه لم يستطع أن يمتنع عن إبداءِ بعض الشكوك، لكن دائماً ضمن إطار عِلم اللاهوت المسيحي: لئن كان الله كُلِّي القدرة، فلماذا لم يخلُق عوالمَ أخرى؟ أمَّا تلميذ ماغنوس، القديس "توما الأكويني"، مؤسِّس الفلسفة المدرسية (السكولاستية)، فسوف يقترح جواباً بواسطة الاستدلال باللامعقول *reductio ad absurdum*: لو أنَّ الله خلقَ عوالمَ أخرى، لكان جعلَها إمَّا مُتشابهة، وإمّا مُختلفة (لا نستطيع إلا بصعوبة أن نتخيَّل إمكانيةً أخرى، حتى لكائنٍ كُلِّي القدرة). الحالُ الأولى تفترض تكراراً لا فائدة منه في الظاهر، ومناقِض للحكمة الإلَهية. وهكذا يستنتج القديس توما الأكويني أنَّه لا يوجد إلا عالمٌ واحد: هو عالَمُنا.

لا تبدو هذه الحجج، اليوم، مُقنعة إلّا قليلاً، لكنها كانت، في القرن الخامس عشر قويةً بما يكفي لإعدام "جيوردانو برونو" بالمحرقة. لقد تجرَّأ برونو أن ينكر بصراحة تعدُّدية العوالِم، لأنه كان يريدُ محاربة عقيدة وحدة تجسُّد المسيح. وقد كلَّفته آراؤه المتزندقة، التي عبَّر عنها في أوج فترة محاكم التفتيش، بأن يُعَدَّ أوَّلَ شهيدٍ للعلم.

لقد أدّى تطوير "كوبرنيكوس" لمنظومة مركزية الشمس في القرن السادس عشر، وملاحظات "غاليليو" إلى إلهاء المكانةَ المتميِّزة للأرض وكذلك إلى جعْلِ حجج "أرسطو" ضدَّ تعددية العوالم باطلة. ومع ذلك، صاغَ "برنارد لوبوفييه دو فونتنيل"، في نهاية القرن اللاحق، حجَّةً أخرى، أكثر أهميةً من تلك التي صاغها المفكِّرون المدرسيُّون. فقد عرف كتابهُ "محاورات حول تعددية العوالم"، المنشور عام 1686، نجاحاً كبيراً في أوساط الناس؛ إذ مايزال إلى الآن معدوداً أوَّل كتابٍ في التبسيط العلمي. تمَّت صياغة الكتاب على شكل حوارٍ بين المؤلِّف ومركيزة ساحرة اضطلعت بدور النزيهة. حيث يلاقي جزمُ المؤلِّف حين يقول إنَّ "... كائنات ذكية موجودة في عوالمَ أخرى، مثل القمر..." معارضةَ

الماركيزة التي ترد عليه بالقول: "... إذا كانت هذه هي الحال، فلا بُدَّ أنَّ سكان القمر سبق أن جاؤوا إلى الأرض ..."، ولم يكن في مُستطاع فونتنيل إلا أن يعترض عليها بالقول إنَّ الزمن اللازم للتمكُّن من الرحلات الفضائية يُحتَمل أن يطول كثيراً: "... إذا كان أكثر من ستة آلاف سنة (وهو العمر المفترض للكون في عهد فونتنيل، بِحسب تفسيرات رئيس الأساقفة الإيرلندي "أوشر" لقصص الإنجيل")، فمن الممكِن أن نُدرِك أنهم لمّا يأتوا بعد لزيارتنا...". سوف نصادف هذه الحجّة من جديد، فيما يتبع من هذا الفصل، وقد أُعيدت صياغتها بمصطلحاتٍ أكثرَ حداثة، تستند إلى سؤال فيرمي.

لقد عزَّز تقدُّمُ علم الفلك في القرن الثامن عشر، وإدراك أنَّ النجوم هيَ شموسٌ مختلفةٌ قليلاً عن شمسنا، فكرةَ وجود عددٍ لا يُحصى من الأرضِين المأهولة في الكون. وبلغ رسوخُ فكرة تعددية العوالم في الأوساط الفكرية، في بداية القرن التاسع عشر، إلى حدٍّ أنَّها استُخدِمت لمُعارضة عقيدة الطبيعة الواحدة للسيِّد المسيح (وهذا انقلاب تام للوضع القائم منذ عصر القديس أوغسطين!). وبغية معالجة هذا الوضع الاحتجاجي، ألَّف العالم الديني الاسكتلندي "توماس شالمرز"، في، كتابَه "خطاب حول الوحي المسيحي، وعلاقته بعلم الفلك الحديث" (!). فأوحى، من دون أن يشكِّك في وجود عوالم أخرى، بأنَّ الجنس البشري وحده عرف الخطيئة الأصلية، وهذا ما استدعى التدخُّل الإلهي من أجل خلاصه؛ إذاً فقد حدَث تجسُّد المسيح؛ بالتأكيد مرةً واحدة، وتمَّ إنقاذُ العقيدة...

كان الإنكليزي "وليام ويوِل"، الأستاذ في جامعة كامبردج، أوّلَ من تصدّى لتعددية العوالم بِحُجَجٍ "حديثة". فقد شدَّد، سنة 1853، على أنَّ الظروف على الكواكب الأخرى للمجموعة الشمسية تختلف اختلافاً كبيراً عن تلك السائدة على الأرض حيثُ إنَّ أيّ شكلٍ من الحياة (على الأقل كما نعرفها) لا يُمكِن أن يتطوَّر فيها. كما لاحظَ أنَّه ليس في تلك الفترة أيُّ إثبات يدعم وجود كواكب حول نجومٍ أخرى، وأنَّ الأرض، خلال القسم الأكبر من تاريخها، لم تُؤوِ أيّ كائنٍ ذكي. حتى

إنَّ فكرة تعدد العوالم، من وُجْهة نَظَره، لم تُطوَّر بناء على قاعدة الأسباب الفيزيائيّة، بل طوِّرت ضِدَّ أيّة عِلَّة فيزيائية.

لم يكُن لآراءُ "ويول" صدىً إيجابياً عند معاصريه. ولا سيَّما وأنَّ عالم الفلك الأميركي "برسيفال لوول" أعلنَ، في نهاية القرن التاسع عشر تقريباً، عن وجودِ "قنواتٍ" من أصلٍ اصطناعي على سطح المرِّيخ (الفصل الأول). ويتعلَّق الأمرُ، في نظره، بعلامات أعمالِ ريّ ضخمة وواضحة كان قد باشرها المرِّيخيون. كان "لملاحظات" لوول تأثيرها الكبير في الجمهور العام رغمَ أنّ زملاءه سُرعان ما كذَّبوها. غير أنَّها ألهَمَتْ، من بين كتَّاب آخرين، مؤسِّس علم الخيال الحديث "هيربرت ج. ويلز"، في كتابه "حرب العوالم"، وهو، على الأرجح، الوصف الأكثر شهرةً، والأكثرُ نجاحاً لِغزو سُكّان الفضاء للأرض.

في بداية القرن العشرين، اغتنى الجدل حول تعددية العوالم بحججٍ مُستوحاة من علم الأحياء. كان "الفريد ر. والاس"، المُؤسِّس الشريك لِنظرية التطور، أوَّل من استعملَ هذا النوع من الحجج ضدَّ مفهوم شكلٍ آخر من الحياة الذكية في الكون. لقد لاحظَ والاس، في طبعة من كتابِهِ "مكان الإنسان في الطبيعة"، أنَّ الإنسان يَنتجُ من تعاقُبِ جملةٍ من الأحداث الفريدة وغير المُتوقَّعة في سلسلة التطوُّر الطويلة. لكنَّ احتمال أن تجري هذه السلسلة من الأحداث في مكانٍ آخر، حتى في بيئات مشابهة لبيئة الأرض، احتمالٌ ضعيف. هذه الحجة تنطبق أيضاً على أشكال الحياة الذكية كلّها.

أدخلت براهينُ والاس، التي تبنَّاها عدَد لا بأس بهِ من علماء الأحياء، في الجدل حول تعددية العوالم "معنى التاريخ" : سلسلة من الأحداث قليلة الأهمية بِمُفردها، تتضخم آثارها مع مرور الزمن إلى درجة أن النتيجة النهائية تصبحُ غير متوقعة على الإطلاق. ولعلَّ من المثير للاهتمام أن نُلاحظ تشابه هذا التصوُّر للتاريخ مع النظرية الحديثة للفوضى : فبِحسب هذه النظرية، التي تمَّ إعدادها بدءاً من الستينيات، يبلغ تأثُّر تطوُّر العديد من المنظومات الفيزيائية بشروطها الأوَّلية

حدّاً يجعل من المستحيل توقُّع سلوكها فيما وراءَ "أفق زمني" - إذ يمكن أن تؤدي شروط أوّلية مُتطابقة تقريباً إلى نتائج مختلفة اختلافاً كلياً.

هذه النقطة تستحق التفكير في معنى تطوُّر الحياة. وفي الواقع فإنّ العرض التقليدي للتطور الداروينى يُشدِّد على التعقيد التدريجي للمادة، كما لو كان الأمر مُتّصلاً بسيرورة حتميّة لا يمكن تجنُّبها. إذ يُعَدُّ تحوُّل البكتيريا إلى كائنات حية متعددة الخلايا، والأسماك إلى زواحف، والثدييات إلى إنسان، طريقاً وحيدة الاتّجاه. وعلى امتداد هذه الطريق، يُقدِّم الانتقاء الطبيعي مكافأة أن يُبقي، من ذريّة الكائنات، الأفراد الذين يتكيّفون بشكلٍ أفضل مع بيئتهم. بيدَ أنَّ من المُمكِن، كما يلاحِظ عالمُ الأحياء الأميركي "ستيفان جي غولد"، أن يكون هذا التصوُّر للتطور خاطئاً تماماً. وذلك لأنَّ الانتقاء الطبيعي لا يشكل وحدَه العامل الحاسم في تطور الأجناس، ولا يتقدَّم دائماً بخطئ وئيدة. فقد أخفت ظواهرُ كارثية أنواعاً كانت تبدو مُحصَّنة تماماً لكي تبقى حيّة عن طريق الانتقاء الطبيعي. ولا شكَّ في أنَّ أكثر الأمثلة شُهرةً هو مثال الديناصورات : فمنذ 65 مليون سنة، اختفت هذه "السحليات المرعبة" بعد هيمنةٍ دامت 130 مليون سنة (ما يعادل خمسة ملايين جيل من الأجيال البشريّة)، على الأرجح بسبب تصادُم الأرض مع كويكب ضخم (الفصل الثالث) يُضاف إلى ذلك أنّ الكائنات الناجية من هذه الكوارث لم تكشف دائماً عن تعقيد في تكوينها يفوق تعقيد الكائنات التي هلكت، ولم تكن فائدتها المُقارِنة واضحة للوهلة الأولى. وبناء على وجهة النظر هذه، لا تَدين الثدييات ببقائها إلا لحسنِ حظها، وليس لأي "تفوُّق" على الديناصورات. غير أن أربع كوارثَ كبيرة أخرى على الأقل تركت آثارها على 350 مليون سنة من الحياة مُتعددة الخلايا على كوكبنا. يمكننا إذاً أن نتساءل عمَّا إذا كان ظهور الإنسان والذكاء، خلالَ ملايين السنين الأخيرة، لم ينبثق من مجرَّد مصادفة محضة.

إنَ لهذه الاعتبارات عواقِبَ مهمّةً للغاية على وجود أشكال أخرى من الحياة

الذكيّة في الكون. تعالوا نُسلِّم، على سبيل المثال، بأن كواكبَ متطابقة مع كوكبنا، وبظروف ملائمة للكيمياء ما قبل الحيوية، موجودة في المجرَّة. فهل من المعقول الاعتقاد بأن شكل الحياة مُتعددة الخلايا لا بُدَّ أن يظهر عليها في يومٍ من الأيام ؟ وماذا يُمكن أن يُقال في الكائنات الأكثرُ تعقيداً، أو في كائنات تتمتّع بالذكاء؟ الجواب أبعد ما يكون عن الوضوح في الوقت الحاضر. سيكون مع ذلك من المدهش جداً أن يبدو ظهورُ الحياة وتطورها باتجاه التعقيد عمليةً حتميةً كحتميّة تبخُّر الماء بعد بلوغه درجة 100 مئوية.

أيــنَ هــم ؟

تمتلكُ مسألة تعددية العوالم تاريخاً طويلاً يمتد على عدة قرون، غنيّاً بالقفزات المفاجئة، ومشوقاً للغاية في بعض الأحيان. بعضُ الحجج التي استخدمها، في الماضي، مؤيِّدو فرضية *ETI* ـ (مختصر الذكاء الفضائي في اللغة الإنكليزية) ومُعارِضوها، تجعلنا اليوم نبتسِم. وما هو أكثر من مُحتمل أنَّ بعضاً من حججنا الحديثة ستجعل أحفادنا يبتسمون بالقدر نفسه، بعد عِدّة عقود، أو بضعة قرون.

أمَّا تاريخ الدراسة العلمية للذكاء الفضائي فقصير، أربعون سنة فقط. في مقالٍ نشرَ في 1959 في مجلة Nature، اقترحَ عالِما الفيزياء "جيوسب كوكوني" و"فيل موريسون" أنَّ المويجات الدقيقة (موجات أشعّة بتردُّدٍ عالٍ) تشكل الواسطة الأفضل للاتصالات بين النجوم. لا تخترق هذه المويجاتُ الجوَّ الأرضي فقط، بل غيوم الغاز والغبار المجرَّاتية أيضاً. فقد امتصَّت هذه الغيوم الصُّور المرئية، "نافذتنا" التقليدية على الكون؛ وهكذا، فرؤية المقاريب البصرية لما هو أبعد في قرص درب التبانة، أقلّ من رؤيته في المقاريب اللاسلكيّة. بالإضافة إلى أنَّ هذه الأخيرة تستطيع أن تتقصّى السماء على مدار الساعة؛ بحكم أنَّ الشمس، وغيوم الجو الأرضي لا يُمكِن أن تحجب رؤيتَها. أمَّا أشعّتا X وغاما γ، اللتان تتطابقان مع التردُّدات الأكثر ارتفاعاً للطيف الكهرمغناطيسي،

فيمتصهما جوٌّ كوكبنا، ولا تبلُغا سطح الأرض (وهذا من حسن حظنا، نظراً لما تسبِّب من ضرر للكائنات الحية). كذلك تُمثِّل المويجات فائدة أخرى: فهي تنقُل قليلاً من الطاقة، ممَّا يعني أنَّ بثَّ الرسائل عن طريق هذا النوع من المويجات هو المفضَّل على صعيد الطاقة. وقد شدَّد "كوكوني" و"موريسون" على نقطةٍ ثالثة مُهِمة: بالقياس إلى بقية الترددُّات اللاسلكية، تُشعّ مَجَرَّتنا قليلاً نسبياً في مجال المويجات الدقيقة. وبعبارةٍ أخرى، إعاقة الضجيج المُشوِّش للاتصالات، ستكون قليلة.

نَشَّنَتْ هذه الاعتبارات المرحلة الحديثة من الجدل حول تعدُّدية العوالم، فاتحةً أفق دراسةٍ علمية للمشكلة. وبدءاً من هذه المرحلة، وُلد الشعار المُختصَر ETI (الذكاء الفضائي). وكان "فرانك دريك"، المدير الشاب للمرصد الوطني للإشعاع الفلكي التابع لـ "غرين بنك" في الولايات المتحدة الأميركية، أوَّلَ من وضعَ هذه الأفكار موضِع التطبيق. فقد رسمَ أوَّل مُخطَّط بحث منظَّم في الإشارات الفضائية، وأطلق عليه اسم أوزما المُشتقّ من اسم ملكة البلد الخيالي أُوزْ (بلدٌ بعيد، يتعذر الوصول إليه، وتسكنه مخلوقات غريبة) في قصَّة "فرانك بوم". وفي عام 1960، بَحَثَ المِقراب اللاسلكي في "غرين بنك" خلال عدّةِ أشهر، عن إشارات لاسلكية في اتِّجاه نجمَين قريبَين، هما ϵ إيريداني وح قيفاوس، سيتي، البعيدين حوالي اثنتي عشر سنة ضوئية. لم تُحبِط النتيجة السلبية لهذه التجربة الأولى عزيمةَ الباحثين. بل خرجت إلى النور عشراتُ أخرى من المشاريع المماثلة، ليس فقط في الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي، بل في كندا، وأستراليا، وفرنسا، وهولندا أيضاً. إلا أنَّ عِدّة آلافِ ساعةٍ من التنصُّت إلى السماء لم تعطِ حتى الآن أيّة نتيجة. لكنَّ التفاؤل الأولي للباحثين (الذي يعكِسُه اسم هذه المشاريع CETI الذي يعني "الاتِّصالٌ مع عقلٍ فضائي"، أخلى المكان بالتدريج للحيطة: إذ تحوَّل المشروع إلى "بحث في الذكاء الفضائي" (بالانكليزية SETI).

لقد تمخّض مشروع "بحث في الذكاء الفضائي" ETI، حتى الآن، عن نتيجتين؛ النتيجة الأولى، على الأرجح، نهائية، على حين أنَّ الأخرى مؤقّتة. فالمسابر التي تمَّ إرسالها إلى جهات مجموعتنا الشمسية الأربع، لم تدُلّ على أيِّ شكلٍ من الحياة في جوارنا القريب. ومن جهةٍ أخرى، لم ينتهِ التنصُّت إلى السماء في الترددات اللاسلكية إلى كَشف أيّة إشارةٍ فضائية. هذه النتيجة ليست مفاجئة، إذا أخذنا في الحُسبان ضخامة المهمة. لذا علينا أن نبذل جهداً أكبر قبل أن نتمكّن من استخلاص نتيجة ذات دلالة إحصائية. ومع ذلك، حتى لو توصّلنا إلى أن نُنصِت إلى المئة مليار نجم في مجرَّتنا، على عشرة مليارات من القنوات اللاسلكية خلالَ قرن أو قرنين، فما النتيجة التي يُمكننا استخلاصُها في غياب إشارةٍ اصطناعية؟ بكلٍ بساطة نقول إنَّ أيّة حضارة من هذه الحضارات الافتراضية لا تبث الآن بثّاً لاسلكيّاً باتجاهنا، وهذا لا يحسم بشكل حقيقي الجدل حول وجود الذكاء الفضائي.

بمعزَلٍ عن هذه البحوث، يوجد حَدَثٌ آخر جديرٌ بالملاحظة، ولا تُقاس أهميته إلا بصعوبة: ألا وهو غياب أي أثر لحضارةٍ فضائية على كوكبنا، أو في المجموعة الشمسية. عاد هذا السؤال، الذي سبق أن أثاره "فونتنيل" في *حوارات حول تعددية العوالم*، بشكله الحديث في منتصف القرن العشرين.

كانت أواخر الأربعينيات مَوسومة بالموجة الأولى من التقارير المتعلقة بالأطباق الطائرة، والأجسام الطائرة الأخرى المجهولة (OVNI)، وعلى وجه الخصوص في الولايات المتحدة. فقد بدأ عالِمُ الفيزياء الإيطالي "إنريكو فيرمي" خلالَ زيارةٍ قام بها إلى مختبر عسكري في "لوس آلاموس" سنة 1950، مناقشةً حول هذا الموضوع مع زملائه وتحديداً مع "إدوارد تيلر"، "الأب" المستقبلي للقنبلة الهيدروجينية الأميركية. اتفقَ الجميع بسرعة حول احتمال الأصل الفضائي للأطباق الطائرة. وحينئذٍ انتقلت المناقشة إلى موضوع الحضارات الفضائية والأسفار بين النجميّة الأكثر شمولاً. وفجأةً سأل فيرمي مُحاوِريه: "لكن أين

هم؟"؛ وسرعان ما بدأ سلسلة من الحسابات لتقدير العدد المحتمل للحضارات في مَجَرَّتنا، واستنتاج أنَّه كان على "هُم" أن يزورونا عدّة مرّات في الماضي. إنَّ غياب آثار مثلَ هذه الزيارة، في رأي فيرمي، لا يعني بشكلٍ حتمي عدم وجود الفضائيين؛ ذلك أن غيابها يمكن أن يكون ناتجاً إمّا من استحالة الرحلات بين النجوم، وإمّا من عمر الحضارة التقنية القصير جداً، إذ يُحتَمل أنَّها دمّرت نفسها بعدَ اكتشاف أسرار الذرّة (يجب ألّا ننسى أن فترة "توازن الرعب" بين الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي كانت بالكاد قد بدأت، في تلك المرحلة فقط).

بقيت هذه المناقشة بين فيرمي وتيلر مجهولة عملياً لفترةٍ طويلة. وها هي عبارة " أينَ هُم؟"، المنسوبة إلى فيرمي، لكن من دون أيِّ تعليق، تلاقي نفسها لأولِ مرة في كتاب "ساغان" و"شكلوفسكي" "*الحياة الذكية في الكون*"، الذي نُشر عام *1966*. وفي عام *1975*، اكتشفَ الفلكي الأميركي "ميكائيل هارت" من جديد، وبشكلٍ مستقلّ، حُجج فيرمي، من دون أيِّ عِلم مسبق بالمناقشة مع تيلر. وخلُصتْ مقالته، بضورةٍ جذرية، إلى أنَّ غياب الفضائيين عن الأرض يشي بأننا الحضارة التقنية الوحيدة في المَجَرّة، وبالتالي، لن يكون البحثُ عن إشارات لاسلكية إلا مضيعة للوقت، والنقود. عقبَ هذا المقال التحريضي، سمّى "كارل ساغان" هذه الإشكالية بـ"مُفارقة فيرمي".

فتحت استنتاجات "هارت" المتشائمة مرحلةً من النقاش العاطفي حول الذكاء الفضائي ETI، وعلى الأخص في الولايات المتحدة. وقد وصل الجدال إلى ذروته في بداية الثمانينيات تقريباً. حيث لاحظ الرياضي "فرانك تيبلر"، في سلسلةٍ من المقالات، أن مُفارقة فيرمي تُصبح أكثر مُفارَقةً إذا أخذنا بالحسبان إمكانية أن تصنع واحدةٌ من هذه الحضارات الافتراضيّة آلاتٍ تنتج ذاتها. إذ إنَّ آلات "نيومان"، تستطيع، كما رأينا في هذا الفصل، أن تنجز مشروع استيطان مجرّاتي في وقتٍ

قصير نسبياً، من دون أن ترتبط بمصير الحضارة التي صنعتها. ذلك أنَّ غياب هذه الأجهزة الآلية في مجموعتنا الشمسية، يشكِّلُ، بحسب تيبلر، أكثر ممّا يُشكِّل غياب آثار أخرى للفضائيين، إثباتاً لتفوقنا التقني، إن لم يكن لعزلتنا في المجرّة.

عُزْلة كونية؟

تقوم كل مفارقة على بُطلان واحدة (على الأقل) من فرضيَّتَيْ عرضِها. ويُمكن عرْضُ مفارقة فيرمي تحليلياً وفق الطريقة الآتية:

I) ليست حضارتنا وحدها الحضارة التقنية في المجرَّة؛

II) حضارتنا "وسطيّة" (نموذجية ؟) من الجوانب كافَّةً؛ وعلى الخصوص، ليست هي الوحيدة التي ستظهر في المجرَّة، ولا هي بالأكثر تقدّماً من الناحية التقنية، مثلما أنَّها ليست الوحيدة الراغبة في استكشاف الكون، والتواصُل مع حضاراتٍ أخرى ؛

III) ليست الأسفار بين النجميّة صعبة جداً على حضارةٍ متقدّمةٍ قليلاً على حضارتنا؛ إذ أتقن بعضُهم هذا النوع من الأسفار، وباشر برنامج الاستيطان المجرَّاتي، معَ، أو من دون روبوت ينتِجِ ذاته؛

IV) يشكل الاستيطان المجرَّاتي مشروعاً سريعاً نسبياً؛ يمكنه أن ينتهي في أقَلّ من مليار سنة، وهذا لا يمثِّل إلا جزءاً بسيطاً من عمر درب التبّانة.

إذا كانت الفرضيّات من I إلى IV صالحةً، فالنتيجة "يجب أن يكونوا هنا" تفرض نفسها بوضوح وتكتسب مفارقة فيرمي معناها كلّه. مؤيدو الذكاء الفضائي ETI يدحضونَ، على الأقل، الفرضيتين وIV؛ حتى إنَّ بعضهم يذهب إلى إهمال الفرضية II من أجل أن يحتفظوا بالفرضية I. وبالمُقابل، يدعمُ معارضوها

فكرة أنَّ الفرضيَّتين IV وIV محتمَلتان تماماً، ويجبُ بالتأكيد رفض الفرضية II؛ والأكثرُ تطرُّفاً يرفضون حتى الفرضية I.

ليس في مُستطاعنا هنا أن نُقدِّم كامِل حجج مؤيِّدي ومعارضي الذكاء الفضائي، الخاصَّة بمفارقة فيرمي. ذلك أنّ الحجج الأكثر إثارةً للجدل لا تتعلَّق بالملمح "الفيزيائي" للمشكلة (إمكانية أسفار بين نجميّة وصناعة روبوتات تُنتج ذاتها)، بل تتَّصل بجانبها "الاجتماعي". فالفضائيون، في نظر بعضهم، لا يهتمّون أصلاً بالأسفار الفضائية، ولا بالتوسُّع في المجرَّة. إذ لا بُدَّ أنَّ حضارتهم التفتت بسرعة إلى القيَم الأخلاقية والروحية (التأمُّل، والتفكُّر، إلخ.)، وأنها تبنَّت أيضاً "النمو صفر" العزيز على أنصار البيئة، وهذا من شأنه أن يمنع الاستيطان الفضائي. بينما يعتقد آخرون، مثل فيرمي، أن عمر الحضارة التقنية يكونُ قصيراً جداً؛ حيثُ يحِلُّ اندثارُها الشامل قبلَ أن تُتقِن الأسفار الفضائية.

ترفض هذه الحجج الاجتماعية صلاحية الفرضيّتين II وI. وثمّة فئة ثانية من الحجج الاجتماعية، معروفة بشكلٍ عام بوصفها "فرضية حديقة الحيوانات الفضائية (أو المحجر الصحي الفضائي)". فبِحسب هذه الفرضية التي طرحها الفلكي الأميركي "جون بال"، عام 1984، لا بُدَّ أنَّ الفضائيين وصلوا في زمنٍ سابق إلى داخل مجموعتنا الشمسية، في ماضٍ حديث أو بعيد، لكنهم اكتفوا بمراقبتنا من بعيد، لأسبابٍ مختلفة: فهُم يعتبروننا "بدائيين" جداً، ولا يتمنُّون التعامل مع تطوُّرنا، بل إنَّهم يخشون أسلحتنا النووية (!).

تنطوي هذه الحجج الاجتماعية كافةً على نقطة ضعفٍ مشتركة. ومن الصعب القبول بأنها تُطبَّق على الحضارات الفضائية *كلّها*، بلا استثناء. إذ لا بُدَّ أنَّ واحدةً من هذه الحضارات المفترضة، على الأقل، نجت من التدمير الشامل، وأتقنت الرحلات الفضائية، وباشرت برنامجَ استيطانٍ مجرّاتي. يُظهر لنا سلوك أنواع الحيوانات على الأرض أنها تَمرّ دائماً بِطَور التوسُّع، الذي يُفضِّله الانتقاء الطبيعي، لأنه يحقق الحدّ الأقصى من حظوظها في البقاء. ومن جهةٍ أخرى، لا بُدّ

أنَّ واحدة من هذه الحضارات، على الأقل، انتهكت "المُحرَّم" الذي يتجنَّب أي احتكاك مع حضارتنا. وإنْ لم تفعلها أيّةُ حضارة، تكون الفرضية مرفوضة ضمنياً: وفي هذه الحال، نكون نحن وحدَنا الذين أردنا الاتّصال بحضاراتٍ أخرى...

من المُسلّي أن نُقِرَّ بأن مؤيِّدي البحث في الإشارات اللاسلكية سبق أن ذكروا الحجج الاجتماعية، بشكل عام. لأنَّ تفكك هذا الموقف واضحٌ للعيان. فَلْنتخيَّل أنَّ إحدى هذه الحضارات الفضائية الأولى راغبةً في الاتصال مع أشكالٍ أخرى للذكاء. سيكون من السهل عليها بيانُ أنّ الحضارة الأقرب، حتى في الحال الأكثر تشجيعاً، ستوجد على بعد مئات أو آلاف السنوات الضوئية. وبالتالي، لن تصل أية إجابة على إشاراتهم اللاسلكية قبلَ عدة قرون أو عدة ألفيّات. وفي هذه الظروف، يبدو لهم خيار الاستثمار في برنامج بحث فضائي أكثرَ منطقية. وقد يمنحهم استكشافُ المجموعاتِ النجمية المجاورة، بمساعدة سفن بين نجميّة، على الأقل معلومات ملموسة في غضون بضعةِ قرون، حتى في غيابِ حضاراتٍ أخرى. وقد تبقى استراتيجيّة تَرتكز على البث اللاسلكي فقط، آلاف السنين، بلا نتائج...

يبدو لي أن شرح مُفارقة فيرمي بمساعدة الحجج الاجتماعية، أمرٌ مشكوك فيه للغاية. ربما يصير الوضعُ مختلفاً لو وُجِدَت نظرية اجتماعية تشرحُ لماذا كان على الحضارات كلّها أن تتصرَّف بهذه الطريقة. أنا أشكُّ، مع ذلك، في أنَّ نظريةً من هذا النوع يُمكن أن تُصاغ يوماً. وأجِدُ من الصعب أيضاً قبول الحجَّة "الفيزيائية" التي ذكرها "إنريكو فيرمي" عام 1950، (أثناء نقاشه مع تيلر)، وذكرها، بشكل مُستقِلّ، الفلكي الفيزيائي البريطاني "فريد هويل". ففي نظرهم جميعاً، ستكون الأسفار بين النجميّة مستحيلةً ببساطة. وفي هذه الحال، لن تظهر التصوُّرات التي عُرضِت في هذا الفصل إلا بوصفها رؤيةً جِدّ "سانجة" للواقع، تُقلِّل إلى حدٍّ كبير من شأنِ صعوبةِ الوضع. وسيُحكَم على نوعنا البشري بالبقاء محصوراً وسط المجموعة الشمسية

حتى تموت الشمس. والحال أنَّ أيَّ قانون طبيعي لا يبدو متعارضاً مع تحقيق هذه الأسفار. لأنَّ طابَع الصعوبات كمِّي أكثر مما هو كيفي؛ ويبدو أنَّ من غير المُحتمَل أن تترك أبواب الفضاء بين النجمي مُغلقاً إلى الأبد.

قِوامُ الحلِّ الأكثر "اقتصاداً" لِمفارقة فيرمي هو رفْضُ الفرضية ا بكلِ بساطة، وفقاً لاقتراحات "هارت" و"تيبلر": ستكون حضارتنا أولَ حضارة تقنية ظهَرَت في المجرَّة. يتَّفق هذا الحلّ مع فهمنا الحالي لنظرية التطوُّر، التي تُشدِّد على عدم احتمالِ المسار التطوُّري المؤدِّي إلى مستوى الذكاء. إنّه لَأمرٌ ذو دلالة توكيدُ أنَّنا نُصادِف بين مؤيِّدي الذكاء الفضائي روَّاد فضاء على وجه الخصوص. أما علماء الأحياء فهم إما محايدون، وإمّا مُعادون علناً لقضيّة الذكاء الفضائي.

لا بُدّ أنَّ الدافع الرئيس لمؤيِّدي الذكاء الفضائي، في نظر تيبلر، ذو طابع ميتافيزيقي. فالأمرُ يعني "الأمل بتدخُّلٍ فضائي يُنقذنا من أنفسنا". حيث كتب "كارل ساغان"، في مؤلَّفه دماغ بروكا قائلاً: "... *يُمكن أن تحتوي إشارات الذكاء الفضائي اللاسلكية على نصائح لِتفادي كارثةٍ تقنية مهولة، وبذلك تُساعد حضارتنا على العبور من طور المراهقة إلى سِنِّ الرُّشْد*...". وكتبَ العالم الفلكي الفيزيائي الكندي "آلاستير كاميرون" في مقدمة مختاراته "اتصالات بين نجميّة": "... ربما نستقبل إشارات لاسلكية مع دروس عن تجربة حكومة عالمية مستقرّة...". وقد أبدى "فرانك دريك"، "*الحبر الأعظم*" للبحث عن إشارات الذكاء الفضائي اللاسلكيّة، أملاً شبه ديني في مقالته بعنوانها البليغ "نَدُبُّ على أربعٍ بحثاً عن الجنة": "... من المحتمل جداً أن الحضارة المكتَشفة ستكون أكثر تقدُّماً من حضارتنا؛ وهكذا سوف تزوِّدنا برؤيةٍ عن مستقبلنا الخاصّ ... احتمالٌ كبير أن نكتشف حضارةَ خالِدين ... سيكون أمنهم مضموناً بشكلٍ أفضل إذا كشفوا عن أسرار خلودهم لحضاراتٍ أخرى، بدلاً من المخاطرة بمغامرةٍ عسكريةٍ شاقّة...".

لا يتقاسم الناسُ جميعاً هذا التفاؤل فيما يخصُّ الفوائد المحتملة للقائنا مع

حضارةٍ فضائية. فصورة التهديد، المؤدِّية إلى العبودية أو إلى إبادة البشرية، هي الأكثر انتشاراً في أدب الخيال العلمي، منذ حرب العوالم للكاتب "هربرت ج. ويلز"، كذلك كان "آرثر س. كلارك" في ملفات تعريف المستقبل، متأثِّراً، بشكل واضح، بمعلّم الأدب الخيالي "هوارد ب. لوفيكرافت" : "نحنُ لا نعرف من يتنزّه ليلاً تحت الطريق الرئيسية بين النجوم، وربما يكان الأفضل لنا أن لا نعرفه". ومن حسن الحظ أن يَتبنَّى "كلارك"، في كتبه الأخرى، موقفاً أقلّ "بُغضاً للأجانب" بكثير؛ حتى إنه أحياناً يمضي إلى الطرَف الآخر، ويلتحق بذلك بمواقف كلٍّ من ساغان ودريك...

تعدُّدية العوالم هي اليوم أكثرُ إثارةً للجدل من أيِّ وقتٍ مضى. إذ إنَّ لِحجة الطرفين ("من غير المحتمَل أن نكونَ وحيدين في هذا الكون الشاسع" و"أينَ هم؟") طابعاً إحصائياً. وبالتالي، فإنَّ قيمتُهما ضعيفة للغاية، لأننا لا يمكن أن نُجري إحصائيات على قاعدة حالة واحدة معروفة (الحياة على الأرض).

يُشكِّلُ اكتشافُ كوكبٍ مأهول (بل أكثر أيضاً، اكتشاف حضارةٍ فضائية) واحداً من الأحداث الكبرى في تاريخ النوع البشري. لكنَّ عدم اكتشاف إشارات الذكاء الفضائي، حتى بعد عدّة قرون من البحوث، لن يُثبِت عدم وجود حضارات فضائية. ومع ذلك، لا بُدَّ لعدم الاكتشاف من أن يهيِّئنا لكي نتحمّل عُزلتنا الكونية...

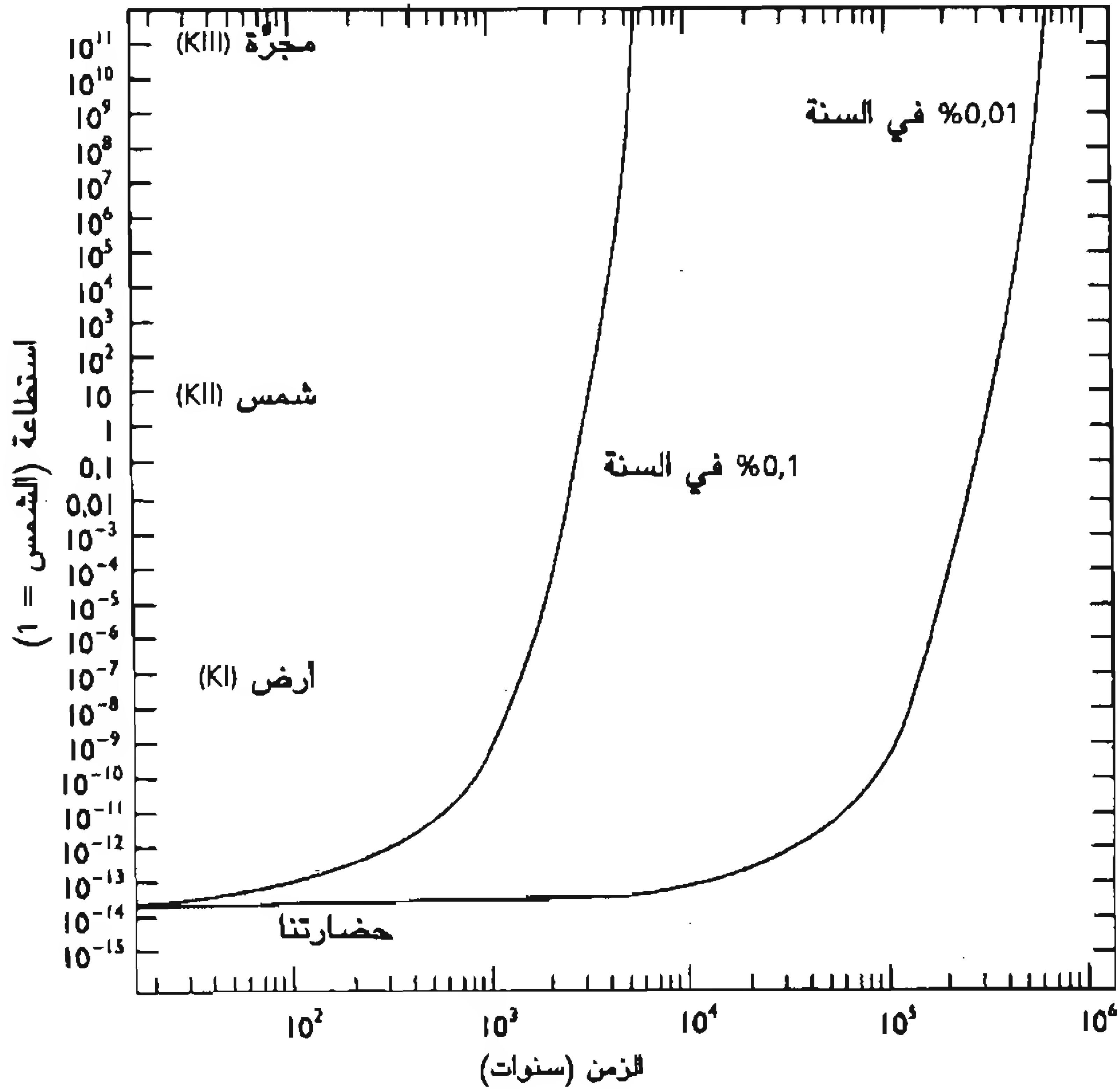
3. خالِقو النجوم

الطريقة الوحيدة لتطويقِ حدود المُمكِن هي أن نُغامر قليلاً في الماوراء، في المستحيل.

القانون الثاني لكلارك
آرثر س. كلارك، ملامح *المستقبل*.

لن نستطيع، في الظاهر، أن نصل إلى النجوم، حتى إلى تلك الأكثَر قرباً منّا، قبلَ عدّة قرون، وحتى إذا نَجَحنا، فنحنُ غير متأكدين، في الوقت الحاضر، من أن نُصادِف حولها كواكب تمثِّل ظروفاً ملائمة للحياة.

يُجبرنا هذا الإقرار، المُخيِّب للأمل قليلاً، على أن ننكبَّ من جديد على بيئتنا الكونية المعتادة، المجموعة الشمسية. لقد رأينا في الفصل الأول من الكتاب أن بإمكان الإنسان، في مستقبلٍ قريبٍ نسبياً، عدة قرونٍ على الأكثر، إقامة قواعد في "ضواحي" الأرض، والقمر، والمريخ، واستغلال مواد الكويكبات. من الممكن أيضاً أن نتصوَّر جزءاً من البشرية يختار العيش في مستوطناتٍ فضائية صناعية، كتلك التي اقترحها "جيرالد أُونيل" في أواخر الستينيات، أو "طبيعية"، داخل كويكبات مُحفَّرة. وأخيراً، من المعقول أن يُشرع في مشاريع ضخمة لتأهيل المرِّيخ وتيتان أو الزهرة، لِجَعلِ سطوح هذه الكواكب قابلةً للسكن، على الرغم من أن ذلك يظلُّ في الوقت الحاضر نظرياً للغاية.



الشكل 3-1. تطور قوة الطاقة التي تنتجها حضارتنا بموجب فرضية نموٌ سنوي بنسبة و1% و0.01%، على التوالي. القوة الحالية تبلغ تيراواط تقريباً، اي أقلّ 50000 مرة مما تتلقّاه الأرض من الشمس وأقلّ 50 تريليون من القوة التي تُرسلها الشمس ؛ تشع المَجَرَة باكملها حوالي 100 مليار مرة أكثر من الشمس. ستبلغ هذه القوى الثلاثة للطاقة (أرض، شمس، مَجَرَة) حضاراتٌ من نموذج كوكبي أو نجمي أو مجرّاتي، بحسب تصنيف عالم الفلك السوفييتي "ن. كارداشيف، على التوالي "(KI, KII, KIII). فقد تسمحُ فرضية الزيادة المستمرة لقوتنا الطاقية ببلوغ هذه المستويات خلال عدة ألفيات (في حال مُعدّل بنسبة 1%) أو عدة مئات الألفيات (في حال معدّل 0.01%).

تعني هذه الرؤى المستقبلية أنّ النوع البشري سوف يستمرّ في "التقدم"، في مجالات استهلاك الطاقة وإنتاج الثروات المعدنية (لكن ليس بالضرورة في مجالات السعادة!). ونحن، بتبنّي هذه الفرضية، نستطيع أن نُحاول

تخيّل مستقبل الإنسان على المدى البعيد جداً في إطار المجموعة الشمسية. من الواضح أننا سوف نُلاقي، عاجلاً أم آجلاً، عاملاً مُحَدِّداً من النادر أن نحسب حسابَه: محدوديّة مصادر أيّ نظام فِيزيائي.

نحنُ أصلاً نعي وعياً تاماً مَحْدودية الموارد الأرضية، التي وضَّحها بشكلٍ جيِّد العنوان الجميل لكتاب "ألبرت جاكارد" "ها هو زمنُ عالمٍ منتهٍ" (على الرغم من أنَّ دراسة نادي روما التي دَقَّت ناقوس الخطر سنة 1972 كانت قد بدت متشائمةً جداً، وربما خاطئة في بعض النقاط). فعلى سبيل المثال، إن فرضية ازدياد سكان العالم بمعدّلٍ ثابت، مهما كان ضعيفاً، قد تقودُ إلى إشباع المجموعة الشمسية في وقتٍ قصيرٍ قياساً إلى عمر البشرية. ونستطيعُ أن نُبين، بالطريقة نفسها، أنَّ ازدياد استهلاك الطاقة العالمية بنسبة 0.01% في السنة، من شأنه أن يقود إلى استهلاك ما يساوي مجموع الطاقة التي تُشِعُّها الشمس خلالَ ثلاثمئة ألفية "فقط"، وهي فترة قليلةٌ من الزمن قياساً إلى المعطيات الفضائية (شكل 3-1).

من الواضح أنَّ هذا النوع من الاستكشافات، التي غالباً ما يستخدمها الماضي، لا يُعلِّمنا إلا قليلاً عن المستقبل البعيد؛ إذ يُظهر في الوقت نفسه لا معقولية فرضية الازدياد الأُسِّي المستمر ومحدودية كلّ نظامٍ فيزيائي. يُمكننا، مع ذلك، أن نطرح المشكلةِ بطريقةٍ مختلفة: كيفَ تستطيعُ حضارة متقدِّمة بما فيه الكفاية في المجال التقني أن تستغلّ بأقصى ما يمكن الموارد المادية والطاقية لمجموعتها الشمسية، على نحوٍ من شأنه أن يزيد إلى أقصى درجة عدد سكانها، واستهلاكهم من الطاقة أو متوسِّط أعمارهم؟

غلاف دايسون

جاء بمحاولة الإجابةِ على هذا السؤال خلال الستينيات "فريمان دايسون"، الذي لم يكن في الحقيقة منشغلاً بمستقبل البشرية على المدى البعيد. كان الذي يعنيه أن يُبيِّنَ إمكانية كشف حضارةٍ فضائيةٍ متقدِّمة تقنياً، حتى من دون علمها.

لكي نفهمِ حجته، يجب أن نعود إلى نهاية الخمسينيات. حيثُ بدأت فكرة البحث عن حضاراتٍ فضائية تخرجُ عن نطاق أوساط الخيال العلمي، وتتسرَّب إلى الحلقات الأكاديمية، مدفوعةً بالنجاحات الأولى لعصر الفضاء. بدأت مشاريع جدّيةً، إلى هذا الحدّ أو ذاك، ترى النور بفضل حماسة بعض الروّاد وجهودهم، مثل الفيزيائي "فيل موريسون" أو الفلكي "فرانك دريك"، حيث تمَّ تطوير تقنياتٍ معيّنة، وتنظيمِ ندواتٍ علمية حول الاستراتيجية التي ينبغي تبنِّيها للبحث في السماء عن إشاراتِ حضارة شقيقة محتَملة.

كان دايسون يعتقد أنها كانت مجرَّد "جعجعة بلا طحْن". ففي نظره، حتى لو كانت هناك حضارة فضائية في غاية التقدّم على الصعيد التقني، فهي لا تخصِّص بالضرورة الوقت والجهود لإرسال إشارات في الفضاء. وهذا على عكس الغريق الذي يمكن أن يأمل بأن أشباهَه سوف يجدون قارورته التي يعلمون بوجودها، بينما لن تشرع حضارة فضائية في إرسال إشارات إلى وِجهات من المُحتمَل ألا تكون موجودة.

وبالمقابل، يمكن لحضارةٍ كهذه، ودائماً بحسب دايسون، أن تُغيِّر بيئتها إلى درجة أن تكون قابلة للكشف على مسافات فلكية. ولكي يسوِّغ دايسون وجهة نظره هذه، قدّم فرضية أنَّ أيَّ مشروع، مهما كان هائلاً (أو بالِغ الجنون!)، فمن الممكن أن تُنجزه هذه الحضارة المتفوِّقة، مادام المشروع لا يتعارض مع قوانين الطبيعة. وافترض أيضاً أن تكلفة المشروع لن تشكِّلَ عقبة، وأن سكان الأرض في القرن العشرين سيعرفون التقنية المستخدَمة. من الواضح أنَّ أيّة فرضيّة من هذه الفرضيات ليست عملية، وكان دايسون يعِي هذا وعياً تاماً. كان يُريد، ببساطة، أن يُبيِّن إمكانية فكرته التي طوَّرها في مقالٍ قصيرٍ نُشرَ عام في مجلة ساينس Science، لا أن يُبيِّن عقلانيتها.

يتمثّل المصدر الأكبر للطاقة في أيّة مجموعةٍ كوكبية بإشعاع نجمها. وعلى الرغم من ذلك، يكون الجزء الكبير من هذه الطاقة مهدوراً وضائعاً أبداً في

المسافات بين النجميّة الشاسعة. فشمسنا تشعّ حالياً أربع مئة تريليون من التيراواط، لكن لا يصدُّ سطح كوكبنا، والكواكب الأخرى من المجموعة الشمسية إلا جزءاً واحداً من مليار فقط تقريباً. وبِحسب دايسون، قد تتمكّنُ حضارة متقدّمة من تطويق نجمها ببناءٍ كُروي، بطريقة يستطيع من خلالها أن يصدّ الطاقة التي يتِمُّ إشعاعها كلّها تقريباً. بالإضافة إلى إمكانية أن يوجد داخل هذه الكرة فضاء حيوي كافٍ لأن يُشبِع، خلالَ ملايين السنين، الزيادة السكّانية لحضارة معيّنة.

ولمّا كانت أية آلة غير قادرة على أن تستخدم الطاقة بكفاءة 100%، فعليها أن تُحرر جزءاً من الطاقة التي تمَّ صدُّها لكي تُرسَل في الفضاء على شكل حرارة. في حالة الأرض، مثلاً، حوالي الثلث من طاقة الشمس المُستَقبَلة تنعكسُ فوراً في الفضاء؛ أما الباقي، فبعدَ أن يكون قد "أُعيد" إلى داخل الغلاف الجوي، والمحيط المائي، والمحيط الحيوي الأرضي، يوضع مرةً أخرى على شكل أشعة تحت حمراء، متطابقةً مع المعدّل الحراري لكوكبنا (15 درجة مئوية أو 288 كلفن). تكون الأشعة تحت الحمراء الأرضية (أو هذه الأشعّة في الكواكب الأخرى) ضعيفة للغاية، ولا يمكن أن تُكشَفْ على مسافات فضائية. لكن الأشعة تحت الحمراء لطبقةٍ من مليارات المرّات أكبر من الأرض تكون سهلة الكشف على بعد مئات السنين الضوئية، كما أنّها تشي بوجودِ حضارةٍ تقنيةٍ متفوِّقة. من هنا تأتي تعليمات دايسون: "*لمعرفة مكان الفضائيين، ابحثوا عن مصادر إرسال الأشعة تحت الحمراء في السماء.*"

يبقى إثبات فعالية هذه الوصفة لأن هناك مصادر فضائية أخرى لبثّ الأشعة تحت الحمراء. فقد تمَّ اكتشاف مصادر متعددة مسبقاً، وعلى الأخص بواسطة القمر الاصطناعي الأميركي إيراس IRAS. فإذ تمَّ إطلاقه في عام 1982، رسم إيراس خرائط السماء بأبعاد موجات تتراوح بين 12 و60 ميكرومتر (جزء من مليون من المتر) وبَيّن أنَّ هناكَ عدداً كبيراً من مصادر الأشعة تحت الحمراء، في كوكبنا، وفي الفضاء خارج المجرّة أيضاً. يعودُ أصل مُعظم هذه الإشعاعات

إلى ضروب الغبار بين النجمي التي سخّنها الإشعاع الضوئي للنجوم المجاورة إلى عدّة مئات الدرجات. وحينئذٍ كيفَ يمكن أن نُميِّز بين مصدر إشعاع طبيعي، وفلك دايسون الذي صمّمه لحضارة فضائيةٍ مُتفوِّقة محتملة؟ ربما بالبحث عن إشارات إضافية، أي عن إشعاعات بأطوال موجات أخرى، لكنَّ هذه الطريقة بعيدةٌ كلَّ البعد عن أن تكون واعدة بالقدر الذي يقترحه دايسون.

ولكن، بمعزلٍ عن فعالية هذه الطريقة، فقد نالت الفكرة تأثيراً كبيراً في التفكير المستقبلي. وفي الحقيقة، نستطيعُ أن نُفكر بأن حضارتنا ستكون قادرة، يوماً ما، على إنجاز أعمالٍ ضخمةٍ جداً وأنّها سوف تتوصّل، على المدى البعيد إلى "تدجين" الشمس.

لم تكن فكرة دايسون أصيلةً بشكل حقيقي. حيث ترجِع أُبوَّتها أيضاً إلى "قسطنطين تسيولكوفسكي" الذي كان قد أوحى، في كتابه "أحلام الأرض والسماء" المنشور سنة 1845، بأنَّ مجتمعاً متقدماً تقنياً لا بُدَّ أن يتمكَّن من توسيع نشاطه في الفضاء لكي يستخدم قسماً أكثر أهمية من الطاقة الشمسية. ومع ذلك، فالصيغة الأكثر قُرباً من صياغة دايسون هي تلك التي صاغها "أولاف ستابلدون"، أحدُ أبرز الوجوه الأسطورية للخيال العلمي. ففي عمله الضخم *خالق النجوم*، الذي ظهرَ في العام 1937، يحكي البطل رحلته الأوّلية عبرَ عدد لا يُحصى من العوالم المأهولة في مَجرَّتنا، وفي الكون، بحثاً عن الكائن الأسمى، خالق النجوم. كذلك يسردُ الراوي أنَّ "*الجماعة المجرّاتية، إذ حسمت قرارها في متابعة خوض مغامرة الحياة والروح، بدأت باستخدام طاقة النجوم كافّة بِمعدَّل غير مشكوكٍ فيه حتى الآن... حيث كانت كلّ مجموعة شمسية محوطة بغلافٍ من مصائد الضوء، التي تُرَكِز الطاقة من أجل غاية ذكيّة...*". وفي الواقع، يعترف دايسون بأنه استلهم عمله من "ستابلدون" (الذي لم يكن معروفاً كثيراً في أوساط الجمهور، من ناحية أخرى)؛ حتى إنَّ فكرته عن طبقةٍ عملاقة تُطوّق الشمس ليست إلا توسيعاً أكثر إتقاناً من هذه الجملة القصيرة *خالق النجوم*.

تفكيك كوكب

كيفَ يُمكِن أن تُبنى كرة دايسون؟ يطرح المؤلف على نفسه السؤال الأساسي في مقالته المقتضبة المنشورة سنة 1960: أينَ سنجدُ المواد اللازمة لبناءِ كرة تفوق مساحتها مساحة الأرض مليار مرّة؟ الجواب: بواسطة تفكيك المشتري، أضخمِ كواكب المجموعة الشمسية. يمكن أن تُوزَّع كتلته، الأكبر من الأرض بحوالي ثلاث مئة مرة، حولَ الشمس، على قوقعةٍ كروية يُساوي نصف قطرها نصف قطر المدار الأرضي، وتبلغ سماكتها عِدّة عشرات الأمتار. في داخلِ هذه القوقعة الشاسعة، يمكن للبشرية، أن تجدَ، في الوقت نفسه، المجال الحيوي lebensraum الضروري لتوسُّعها السكاني، وأن تستفيد من كامل الطاقة التي تُشِعُّها الشمس تقريباً.

إنَّ فكرة تفكيكِ كوكبٍ بأكمله أكثرُ خيالية أيضاً حتى من فكرة "دايسون" نفسها المُتعلّقة ببناءِ كرة. كما أنّها تشكّل الرؤية الأولى لتدخّل الإنسان على نطاقٍ بهذه الضخامة يفوق كثيراً التدخُّل الخاص بتأهيل الكواكب (تعديل سطحِ كوكبٍ فقط) أو لَغْم الكويكبات الصغيرة. بإمكاننا أن نتساءل عمّا إذا كان مشروعٌ كهذا قابلاً للتنفيذ، وعمّا إذا كان مأمولاً (نظراً للفائدة العلمية التي تقدّمها أجرام المجموعة الشمسية كلّها لعلماء الكواكب) أو أيضاً عمّا إذا كان "هجين" بهذا الحجم لا يُخلِّف آثاراً كارثية على باقي المجموعة الشمسية.

ويُمكننا، فعلاً، أن نُفكّر في أنَّ المشتري، الذي تُعَدّ كتلته أكبر بمرتين من كتلة بقية الكواكب مجتمعةً، يلعبُ دوراً هاماً في التوازن التجانبي للمجموعة الشمسية، وأن اختفاءه يمكن أن يُخلخل مدارات الكواكب الأخرى. ولكن لا يوجد شيء من هذا القبيل، لأنَ الشمس، الأضخم ألف مرة من المشتري، هي التي تسيطر على حركية مجموعتنا. لا مجال للشكّ طبعاً في أنَّ اختفاء الكوكب العملاق سيؤدّي إلى تشتُّت أقماره (توابعه)، التي يمكن أيضاً أن تُستعاد لكي تُستخدَم في بناء الفلَك الكبير. أمّا فائدة العلماء، فيمكننا أن نُفكّر بعقلانية في أن

أجسام المجموعة الشمسية سبق أن أفشت أسرارها كافّةً من الآن حتى عِدّة ألفيّات. وحينئذٍ لن يحصلوا إلا على فائدة "تجارية" محض، خاصةً إذا استمرت العقلية الحالية سائدةً في تلك الحقبة البعيدة...

من دون أن نتَّخذ هنا موقفاً حول هذا النقاش الأكاديمي، أعني إذا ما كان سيتوجّب، ذات يومٍ، تفكيكُ كوكبٍ مّا أم لا، تعالوا نرَ كيف يواجه دايسون ذلك، وهو مُسلَّح فقط بالمعارف التقنية في القرن العشرين. وعلى الرغم من ذلك، يُلِحّ دايسون على حقيقة أن حساباته لا تستدعي إطلاقاً تطبيق هذه الطريقة هذا اليوم أو ذاك؛ بل يريدُ ببساطة أن يُبَيِّن أن تفكيكَ كوكب ممكِن بوسائل نستطيعُ تصميمها اليوم.

يقترحُ "دايسون" تسريع دوران الكوكب حولَ محوره إلى درجةٍ تتفوّق معها القوة النابذة على قوى التماسك الداخلي. وفي هذه اللحظة يبدأ الكوكب في التفكُّك، قاذفاً مادته في الفضاء. ويتم الوصول إلى نقطة التمزُّق عندما تقصُر فترةُ دوران الكوكب إلى حوالي الساعة. ينبغي مقارنة هذه الفترة الحرِجة مع الأربع وعشرين ساعة لفترة الدوران الأرضي، وكذلك مع دوران المشتري، الأسرَع من الكواكب كلّها حيثُ يقوم بدورة كاملة حول نفسه كلَّ عشرِ ساعات. إذاً لا بُدّ من إجبار الكوكب على الدوران بعشرة أضعاف سرعته، وصعوبة هذه العمليّة تتناسب، طبعاً، مع ضخامة الكوكب.

يقترحُ "دايسون"، لتسريعِ دوران كوكب، إحاطته بشبَكٍ معدني عملاق، وشحنُه بتيارٍ كهربائي عالي الاستطاعة. وهكذا ستُسبِّب القوّة الكهرمغناطيسية التي تمَّ توليدها بهذه الطريقة، إذا ما طُبِّقت في الاتجاه الصحيح، تسريعاً خفيفاً لدوران الكوكب. ترتفع القوة النابذة، ببطء لكن من دون تراجُع، في منطقة خط الاستواء خاصّة. وعندما تبلغ فترة الدوران نقطةَ الفصل، تبدأ الكُتَل الأولى بالتقاذف من المناطق الإستوائية للكوكب. وبمقدارِ ما يُسرعُ دوران هذه "الدوَّامة" الهائلة، يتعاظم تطايرُ الكُتل في الفضاء حيثُ يلتقطها نظامٌ من

"الشِباك" المغناطيسية الضخمة. وهكذا يستطيعُ مُهَندسو المستقبل الحصول على تفكيكٍ كامل لكوكبٍ ما، واستعادة المواد اللازمة لبناء فلَك دايسون.

كَم مِنَ الوقت والطاقة يجبُ تسخيرهما لهذا العمل، الذي لا ريب في أنّه أكبرُ مشروعٍ عملاق يمكننا تصميمه على مستوى مجموعتنا الشمسية؟ لقد افترَضَ دايسون أنَ المجال المغناطيسي المُحرَّض على السور المعدني يجب أن يكون بكثافةٍ معتدلةٍ نسبياً، من مئة غاوس فقط (حوالي خمس مئة ضِعف كثافة المجال المغناطيسي الأرضي). يجب إذاً تسريع دوران الكوكب خلال مئة ألف سنة تقريباً، قبل الوصول إلى دورةٍ واحدة في الساعة. أما القوة اللازمة لتغذية المجال المغناطيسي، فستكون بحدود مليار تيراواط، تقريباً أعلى مئة مليون مرَّة من الإنتاج الحالي لحضارتنا، لكنه أقلّ مما يتلقّاه سطح الكواكب من الشمس. حينئذٍ لا بُدَّ من نشر ألواح شمسية ضخمة، بمساحةٍ تعادل مئات المرّات سطح الكوكب، لكي نتمكّن من التقاط الطاقة الكافية لاحتياجات هذا العمل.

ومن جديد، قد تجعلنا ضخامة الكميّات المُتضمَّنة نعتقد بأن الفكرة غير منطقية. ودايسون نفسه يَعْتَرِف بذلك ضمنياً، ويفضِّل "... نقلَ أحلامه كمهندس خائب في سياقٍ فلكي..."، إذ يوحي بأنَّ حضارةٍ فضائية يمكن بالأحرى أن تُحقِّق هذا المشروع. وهو يخشى، بوضوح، من أن تقرِّبه أحلامُ يقظته المتوحِّشة، بشكلٍ خطير، من الخيال العلمي، لكنه ربما كان على خطأ: علينا ألّا ننسى دروس الماضي ولا الرياضيات البسيطة للنمو الأُسِّي (الصالحة حتى بلوغ حدود منظومة مّا). فمنذُ ألف سنة فقط، لم تكن البشرية بأكملها تسيطر إلّا على طاقةٍ أقلّ من الطاقة الناتجة عن مُفاعلٍ نووي واحد اليوم. ومن جهةٍ أخرى، إن معدل زيادة إنتاج الطاقة بنسبة واحد بالألف في السنة، هو، باختصار، مُعدّلٌ متواضع نوعاً مّا، و يقودُ إلى زيادةٍ مقدارها ألف مليار بعد ثلاثين ألف سنة "فقط". إذاً من المعقول أنّ تتمكّن حضارةٌ مستقبلية من الاستحواذ ذات يوم على الطاقة اللازمة لبناء كرة دايسون.

لن تكون الكرة بناءً متحَجراً، على عكس ما يشير إليه الاسم، لأنه لا توجد أية مادة قادرة على مقاومة التوتُّرات العالية التي تتولَّد فيها. وفي الواقع، لا يمكن لأية بنية متحجِّرة يتعدّى حجمها عدة ملايين الكيلومترات أن توجد على مسافة مئة وخمسين مليون كيلومتر من الشمس (نصف قطر المدار الأرضي) : فلا بُدّ أن تتمزّقها قوّة الجذب التي تُمارسها الشمس على أجزائها المختلفة. يجبُ إذاً أن نتوقَّع وجود عدد لا يُحصى من "الجزر" الفضائية الصغيرة التي تُشكّل عشرات الأحزمة حول الشمس على غرار حزام الكويكبات. تتوزّع هذه الأحزمة على أبعادٍ مختلفة قياساً إلى الشمس لكي لا تتقاطع مداراتها فيما بينها، ولكي تأخذ منحنياتٍ مختلفة حتى يتمكّن مجموعُها من تغطية الجزء الأكبر من "الكرة" المُتخيَّل. قد تستخدمُ بعض هذه الجزر لتكون مستوطناتٍ، بينما لا يكون بعضها الآخر إلا ألواحاً تلتقط الطاقة الشمسية.

الخيمياء المستحيلة

كان المشتري، في مشروع "دايسون" الأساسي، الكوكب الذي يجب أن يُضحّى به لبناء "غلاف جوِّي ضخم" تفوق كتلته تقريباً ثلاث مئة وعشرين مرة كتلة الأرض. يتكون المشتري أساساً من عناصر خفيفة كالهيدروجين والهليوم. ويوجد الجزء الأكبر من الهيدروجين داخل الكوكب على شكل معدن؛ فهذه المادة غير معروفة على الأرض، ولكنها مهيمنة داخل المشتري بسبب الضغط الهائل الذي يفوقُ مليارات المرات ضغط الغلاف الجوي الأرضي. وفي النهاية، تتكون النواة المركزية من صخور وجليد، مع كتلةٍ تعادل حوالي عشرين كتلةٍ أرضية.

من المدهش أن "دايسون" لم يأخذ بالحسبان هذه التركيبة الخاصة للمشتري. لم يؤثر هذا بشيء في تصوُّر الغلاف الجوّي، بل أثّر فقط في مفهوم بنائه بواسطة تفكيك الكوكب العملاق. وفي الواقع فإنَّ الهيدروجين والهليوم هما، في الظروف العادية، نوعان من الغاز وليسا من المواد الصلبة. والشدّ الجذبي

القوي للكوكب يمنع هذه الغازات من التشتت في الفضاء، والضغط الخارق من داخل الكوكب يُبقي الهيدروجين في حالته المعدنية. من الواضح أنّه إذا تمَّ تفكيك المشتري، فسوف يختفي هذان العاملان، ولا تلبث الغازات الخفيفة أن تتبدّد في الفضاء المحيط. ولا تبقى إلّا المواد الثقيلة لنواة الكوكب الصخرية (الفحم، والأكسجين، والسيليسيوم، إلخ.)، لكنها لا تشكّل إلا 5% تقريباً من كتلة المشتري. وهذا يمثل كتلةً تساوي عشرين مرة كتلة الأرض، وقد تكون كافية لبناءِ كرة دايسون، خاصةً إذا تمَ تبنّي أشكال بناء جِدّ خفيفة. لا بُدّ أن يكون هذا، مع ذلك، أكبر ورطة في التاريخ: تفكيك الكوكب الأضخم في المجموعة الشمسية لكي لايتمّ الحصول إلا على نسبة مئوية ضئيلة من كتلته! (مما قد يُذكِّر قليلاً، مع مراعاة الفارق، بمجزرة وحيدي القرن الحالية، لا لشيء إلا للحصول على قرونها!)

ينتفض "أدريان بيري" في وجه هذا التبذير. فهو يقترح، في كتابه *"العشرة آلاف سنة القادمة"* الذي نُشر عام 1974 طريقةً أخرى أكثر تجريداً أيضاً من مشروع دايسون، لاستغلال كتلة المشتري كلّها تقريباً. تستدعي هذه الطريقة عملية اندماج حرارية ـ نووية مضبوطة، لكن على مستوى لم يسبق له مثيل.

في الحقيقة، تَستخلص الشمس ومعظم النجوم طاقتها من اندماج الهيدروجين لإنتاج الهليوم في قلبها، حيث تصل الحرارة إلى عشرات الملايين من الدرجات. لم تُتقِن التقنية الأرضية هذه العملية بعد، ولكننا يُمكن أن نأمل، بصورة عقلانية، أنّها سوف تُتقنها في القرن القادم. تدمج النجوم الحمراء العملاقة في قلبها الهليوم مع الفحم والأكسجين، بحرارة تبلغ مئات ملايين الدرجات؛ وفي أكثر هذه النجوم صلابةً، يُنتج الدمج عناصرَ أكثر ثقلاً أيضاً (السيليسيوم والكالسيوم والحديد، إلخ.) بحرارة تبلغ عدة مليارات درجة. تنتشر هذه العناصر كلّها في المجرَّة، إما بواسطة الرياح النجمية، وإما بواسطة انفجار

المُستعِر الأعظم الذي ينهي حياة نجم ضخم. بفضل هذه "الخيمياء" النجمية، يتمّ تركيب العناصر الثقيلة من العناصر الأخفّ، كالهيدروجين والهليوم، بحكم أن هذين الأخيرين نتجا في كون الانفجار العظيم، الساخن (الفصل الرابع).

حتى إن كان دور المفاعلات النجمية في إنتاج العناصر الثقيلة معروفاً منذ نصف قرن، فلا أحد فكّر جدّياً في استعمال عملية اصطناعية من هذا النوع للحصول على مادةٍ مرغوبة (على الأقل ليس على مستوى ما هو عياني). ذلك أنَّ صعوبات التمكُّن من عملية دمج الهيدروجين هي أصلاً أضخم من أن تسمح بالتصدّي لهذه العملية في درجات حرارة أكثر ارتفاعاً عشرات، ومئات المرّات!.

يقفزُ "بيري" بابتهاج فوق هذا "الحاجز النفسي"، ويوحي بأنّ مفاعلات حرارية - نووية ضخمة، قد تبنى ذات يوم، وهي ليست قادرة على صهر الهيدروجين في الهليوم، ولكن أيضاً هذا الأخير في الفحم، والأكسجين، إلخ. حينئذٍ سيتمّ إرسال مئات من هذه المفاعلات الضخمة إلى الغلاف الجوي للمشتري لكي تمتصّ هيدروجينه وتحوِّله إلى عناصر ثقيلة. ويمكن، فيما بعد، أن تُقتَلع منتوجات هذه "الخيمياء" المستقبلية من جاذبية الكوكب بواسطة مغناطيس قوي (على الأرجح موصِلات فائقة!)، يُغذِّيها جزء من الطاقة المستخلصَة من هذه المفاعلات النووية ذاتها. بفضلِ هذه الطريقة، يمكن تفادي "تبذير" دايسون، وتُستعاد أكثر من نصف كتلة المشتري على شكلٍ مفيد...

طبعاً، لم تكن لدى بيري أية فكرة تتّصل ببناء هذه المفاعلات الممتازة. على عكس دايسون، الذي يستنبط، على مستوى عملاق، طريقةً سبق تطبيقها، يستنبط بيري على المستوى نفسه طريقةً غير معروفة. لكن المشكلة الكبرى تكمنُ في أنّ فكرته، بكل بساطة، غير قابلة للتطبيق. حقاً، إن دمج هيدروجين المشتري قد يحرّر كمية من الطاقة لا تُرسلها الشمس الشمس في مئة مليون سنة. إذ يكفي أن يتبدّد جزء بسيط من هذه الطاقة في الغلاف الجوي للكوكب خلال العملية ليسخن الكوكب إلى درجة التبخُّر في الفضاء.

من الواضح أن تفكيك المشتري (المحتمل) لن يقوم أبداً على اقتراح بيري. وعلى الرغم من ذلك، كان هذا الاقتراح يستحقّ أن يُعرَض، لأن مفهومه الجوهري، أي التحويل الحراري النووي المضبوط لعناصر خفيفة إلى عناصر ثقيلة، مفهومٌ جذّاب؛ فالأمر مُتّصلٌ، بكل بساطة، بحلُم الخيميائيين القديم، أولئك الذين كانوا يرغبون في تحويل أية مادة إلى ذهب بمساعدة "حجَر الفلاسفة". ومن جهة أخرى، نتذكّر (الفصل الأول) أن عربة "جول فيرن" السريعة، التي وضعتها كولومبياد الرهيبة في المدار، ولم تكُن أبداً ملائمة تماماً لنقلِ المسافرين. لكنّ فكرتها الأساسية، فكرة إرسال أشخاص إلى الفضاء داخلَ مقصورة مُكيَّفة الضغط، وليس في منطاد أو على أجنحة طائر، ظلّت باقية ...

الحلقة ـ العالم

أثارت فكرة فلَك دايسون، منذُ ظهورها، وعلى نطاقٍ واسع، اهتمام مؤلِّفي الخيال العلمي. من ضمن العوالم المُتخيَّلة التي تمَّ إبداعها على قاعدة هذه الفكرة، يُعدّ العالَم الذي طوّره "لاري نيفن" في كتابه "*الحلقة ـ العالم*" الذي نُشِر عام، من دون شك، أكثرها شهرةً. فعوِضاً عن كرة، يكتفي نيفن بأن يتصوَّر مجرَّد حُزامٍ متين، وهو حلقة يبلغ قطرها ثلاث مئة مليون كيلومتر (*يُعادل طول المدار الأرضي*)، حول النجم الخيالي *EC-1572*. هذه الحلقة أثقل ألف مرة من الأرض، وعرضها مليونان من الكيلومترات (*خمسة أضعاف المسافة بين الأرض والقمر*)، ومساحتها أكبر ستة ملايين من مساحة كوكبنا.

تُشكل هذه المساحة الشاسعة، في رأي المؤلِّف، الدافع الرئيس لبناء الحلقة ـ العالم. وفي الحقيقة فإنَّ الحضارة التي بنتها كانت مستقرّة، فيما مضى، على عشر مجموعات نجميةٍ مختلفة، وكانت أبعادُها (البالغة عدة سنوات ضوئية) تُثير مشكلات تواصل خطيرة. وقد وفّر بناء الحلقة ـ العالم كلَّ المكان اللازم الذي كانت تحتاجهُ هذه الحضارة. وبفضلِ مُسرِّعٍ (نوعٌ من القطارات الضخمة فائقة

السرعة) حول الطرف الخارجي، يستطيع سكّان هذا العالم القيام بدورة حول الحلقة خلال ثلاثة أسابيع.

بُغية اصطناع جاذبية مشابهة لجانبية الأرض على جدارها الداخلي، تدور الحلقة حول الكوكب بسرعة 1200 كيلومتر في الثانية، وهي سرعة تفوق 40 مرة سرعة دوران الأرض حول الشمس، ممّا يكوّن "سنة" من 9 أيام فقط. وليتمّ تفادي الحصول على يومٍ أبدي، بِحكم أنّ المساحة المأهولة توجد على الدوام مُقابل النجم، توضع ألواح ضخمة بطول 4 مليون كيلومتر، وعرض مليونين، في المدار داخل المجموعة، مُلقيةً بظلالها على أجزاءَ كبيرة من السطح. وفي الوقت نفسه، تلتقط هذه الألواح أشعة النجم وتنقلها إلى الحلقة، مكوِّنةً بهذه الطريقة مصدرها الأساسي من الطاقة. وعلى الرغم من حجم المنظومة الكبير، فإنَّ الجذب الخاص بالحلقة ضعيف. ومن أجل منع الغلاف الغازي من الدخول إلى الفضاء، تمَّ بناء جدران ضخمة على جانبَي الحلقة، وهي في الحقيقة جبالٌ بارتفاع كيلومتر.

لبناءِ الحلقة ـ العالم، كان على المهندسين أشباه البشر في هذه الحضارة المتفوِّقة، ان يُجمِّعوا المواد الصلبة كلَّها في المجموعة النجمية EC-1572 ويحوِّلوها إلى مادةٍ خارقة الصلابة، مما يسمح للحلقة شديدة المتانة بأن تقاوم ضغط القوَّة النابذة الهائل الذي تتحمّله. بالإضافة إلى ذلك، اتخذوا احتياطاتهم لاستعادة المواد المتسيِّبة من المجموعة، وخاصةً المذنَّبات والكويكبات، للقضاءِ على أيّ خطر تصادُمٍ لاحق قد يثقب الحلقة ويسبب تسرُّب الغلاف الجوّي.

لا يمكننا أن نتصوّر بسهولة المشهد اللامعقول الذي ستعرضه السماء "الليلية" لسكانِ هذا العالم: ثمّة شريطٌ ضيق يعبر السماء السوداء من طرفٍ إلى آخر، مُخطّط ببقع سوداء (تحت ظل اللوحة) ولامعة متعاقبة. وعلى العكس، سيكون توهُّم سماء وأفق عاديَّين، أثناء النهار، كاملاً، فقط في نظر أولئك الساكنين في أسفل جبال الحوافّ الهائلة.

وعلى الرَّغم من هاجس الواقعية عند "نيفن"، فإنَّ وجود الحلقة ـ العالم غير ممكن. إذ يمثّل بناءٌ من هذا الحجم بالقرب من نجم، عاملَ عدم استقرار سيؤدي إلى تدميره في وقتٍ قصير نسبياً. ومع ذلك، سبق أن دغدغ مفهوم الحلقة ـ العالم وفضاؤها غير المحدود حلم ملايين قرّاء الخيال العلمي.

"تحويل المشتري إلى نجم" وقضية لاندو

يحتلُّ المشتري مكانةً مُفضَّلة في مشاريع "تهيئة" المجموعة الشمسية التي قدَّمها مؤلِّفون جادّون إلى حدٍّ مّا، وهذا يعود، من دون شك، إلى كتلته الضخمة. لا ريب في أنَّ مشروع تفكيكه على طريقة دايسون للحصول على مواده المُخصَّصة للبناء، مشروع جريء جداً، ولكنه لا يبدو مخالفاً لأيٍّ من القوانين الفيزيائية المعروفة.

ثمّة مشروع أكثر جُرأةً أيضاً، لكنّه، ظاهرياً، غير واقعي، يتعلَّق بخلقِ شمس ثانية في مجموعتنا الشمسية بواسطة... تحويل المشتري إلى نجم. ظهرت هذه الفكرة أوّل مرّة في كتاب "آرثر. س. كلارك" "2010، الأوديسة الثانية"، وهي تتمّة لكتابه الآخر المعروف ، "أوديسة الفضاء". يحكي كلارك في هذا الجزء الثاني كيف تتلقّى مجموعتنا الشمسية التدخل الأخير لحضارة فضائية متفوّقة، التي تنجح في إشعالِ تفاعلات الاندماج الحراري النووي داخل المشتري. هدف العملية، بوضوح، هو أن تُمنح كوكبةُ أقمار المشتري شمساً مُصغّرة، وخلق مجموعة شمسية مصغّرة، مع حوالي اثني عشرَ عالَماً جديداً ملائماً للحياة. إنها، بعبارةٍ أخرى، المرحلة الأولى من مشروعٍ واسع للهندسة الكوكبية يتعلّقُ بمجموع أقمار المشتري.

الفكرة جذّابة، لكن كلارك يعاني من صعوبة تصوُّر آليّة مُقنعة لكي يُحقّق معجزة كهذه. يبقى كلارك، بلا شك، منسجماً مع ذاته ومع قانونه الثالث، المشهور في أوساط الخيال العلمي، الذي يفترِض أن "كلّ تكنولوجيا متقدّمة بما

فيه الكفاية، ستعدّها حضارةٌ أقلّ تقدُّماً من قبيل السِّحر". لكن منطق هذا القانون الذي لا ريب فيه لا يمكن أن يُنكر لتسويغ أية عمليةٍ كانت ...

حقاً، المشتري نجمٌ "فاشل". فعلى الرغمِ من كتلته الضخمة قياساً إلى الكواكب الأخرى، ينقصه المزيد من الوزن الكافي لكي يسحق طبقاته الداخلية، ويرفع درجة حرارتها إلى درجة إطلاق شرارة انحلال الهيدروجين. إنه يحتاج إلى كتلةٍ اكبر بثمانينَ مرة تقريباً ليبلغ ذلك. فالفرق بين الكوكب والنجم ليس، في جوهره، إلا مسألة كتلة.

يعرفُ كلارك الفيزياء معرفة جيدة إلى حدّ لا يجعله يُغفِل هذه النقطة. فهو يحاول إذاً أن يُقدِّم آليةً "معقولة" عبْر شخصيّة "فاسّيلي اورلوف"، المُتخصِّص في الفيزياء الفلكية، العامل على متن السفينة الفضائية الروسية ليونوف. كانت هذه السفينة في مهمة قرب المشتري لحظة العملية، وشارك طاقمُها، المذهول، بانفقاس الشمس الجديدة. في المرحلة الأولى، غطّت مليارات الأجهزة العملاقة سطح المشتري بشكل تدريجي. ويتبيّن بوضوح أن الأمر يتعلّق بآلات "فون نيومان" (الفصل الثاني)، المتكاثرة، بشكلٍ أساسي، انطلاقاً من جهاز واحد أوّلي، لكنّ دورها لا يتوضّح إلا في نهاية العملية.

يحكي "فاسيلي" لزملائه قائلاً، "أظُنُّ أنَّ هذه الملايين من الآلات حَوّلتْ جزءاً من هيدروجين المشتري إلى عناصر ثقيلة، وحتى إلى مادّة نيوترونية غاصت داخل نُواة الكوكب... وعندما أصبحت النواة كثيفة كِفايةً، انصهرت، وارتفعت الحرارة إلى درجة إشعال المفاعلات الاندماجية...".

يستأنف هذا الوصفُ فكرةَ المفاعل الاندماجي الضخم، القادر على تحويل الهيدروجين إلى عناصر ثقيلة. كان القارئ النبيه سيُلاحظ أنّ هذه الفكرة تعاني من الخطأ نفسه الذي ارتكبه "أوريان بيري". وفي الحقيقة، فإن دمج العُشر فقط من هيدروجين المشتري في عناصر ثقيلة يُحَرّر ما يعادل الطاقة التي تُشعّها

الشمس خلالَ عشرةِ ملايين سنة. ليس لأنَّ طاقَم لينوف قد يكشف هذه الطاقة وحسب، (وهذا لا يظهر في قصة كلارك)، بل لأنّها، بعدَ تحريرها بوقتٍ قصير نسبياً، قد تسبب أيضاً تبخُّرَ الكوكب وليس انهيارَه.

بمعزلٍ عن هذا "التفصيل"، يبقى اقتراح كلارك مهمّاً، لأنه يستلهِم من واقعة منسيّة ومؤثّرة في تاريخ العلم الحديث. تعود هذه الواقعة إلى الثلاثينيات، أي إلى فترة "الرعب الكبير" في الاتحاد السوفييتي، في عهدِ جوزيف ستالين. ففي غضونِ عدة سنوات، تمَ اعتقال أكثر من سبعة ملايين شخص، وقتْل أكثر من ثلاثة ملايينَ آخرين. وقد قضت عمليات التطهير على قسمٍ كبيرٍ من النخبة الفكرية السوفييتية، وعلى الأخصّ فرق بحث علمي كاملة. في هذا الجوّ المرعب، لن يكون بِمستطاع حتى فيزيائيّ لامع مثل "لاندو" أن يكونَ محمياً. كان ليف دافيدوفيتش لاندو، على الرغم من عمره اليافع، أفضل فيزيائي نظري في تلك الفترة (وفي رأي العديد من الاختصاصيين، كان أحدَ أفضل عشرة في القرن العشرين). فإذ أحسَّ الفيزيائي الشاب بالخطر، فكَّر بأنه يستطيعُ أن ينجو إذا نجحَ في جذب انتباه الناس إليه واكتشف شيئاً يُثير المشاعر.

كان لاندو، قبل عِدّة سنوات، مباشرةً بعد اكتشاف النيوترون، قد صاغ مفهوم "النجم النيوتروني"، وهذا جسم في غاية الكثافة وبحجمٍ صغير. تبلغ الكثافة النموذجية لجسمٍ كهذا مئة ألف مليار ضِعف كثافة الماء، ويبلغ نصف قطره حوالي عشرة كيلومترات، وتفوقُ جاذبية سطحه مليارات المرّات جاذبيّة الأرض. حينئذٍ فكّر لاندو باستعمال هذا المفهوم لتوضيحِ مصدر طاقة الشمس والكواكب العادية الأخرى. صحيح أنَّ الفلكي البريطاني "آرثر أدينغتون" كان قد أوحى، خلال العشرينيات، بأنَّ أصل الطاقة المذهلة المحرَّرة من كوكبنا، هو حراريّ - نووي. وعلى الرغم من ذلك، فإن الفيزيائي الألماني "هانس بيتَ" لم يشرح سلسلة التفاعلات النوويّة المعنيّة، إلا في عام 1938، حين كان لاجئاً في الولايات المتحدة الأميركية. في رأي كثيرٍ من الفيزيائيين، قد يبقي السؤالُ

مفتوحاً على العصر. حينئذٍ تخيّلَ لاندو أنّ نجماً نيوترونياً صغيراً يرقد في مركز الشمس، وأنّ الطبقات الداخلية تنهار من الشمس، بفعل جاذبية الحقل المغناطيسي القوي للمركز، مُتساقِطةً باتجاه الداخل بسرعةٍ يمكن أن تصلَ إلى ربع سرعة الضوء. وفي لحظة تحطم هذه الطبقات على السطح القاسي للمركز النيوتروني، تتحوّل طاقتها الحركية إلى حرارة تتحمّل وزن طبقات الشمس، العليا، قبل أن يُشِعَّها سطحُها. تُحَوِّل هذه العملية حوالي 10% من المادّة إلى طاقة، بمعدّل ثلاثين ضِعف مُفاعلات الاندماج الحراري - النووي للهيدروجين. كما أنّ هذه الفعالية الخارقة في تحويل المادة إلى طاقة تسمح لكوكبنا بالإشعاع خلال عدة مليارات من السنين. وبعبارةٍ أخرى، ربما تكون طاقة الشمس من أصلٍ جنبي، على غرار مُفاعلاتنا الكهرمائية التي تُغذِيها مساقِطُ المياه بالطاقة.

أرسلَ "لاندو" مقالته إلى الفيزيائي الدانماركي اللامع "نيلز بوهر" طالباً منه عرضها على المجلة البريطانية المرموقة Nature. وسعى أيضاً لكي يطلُب ناشرو الصحيفة السوفييتية الرسمية أزفستيا، تعليقاً من بوهر. وعلى الرغم من شعور بوهر بالحرَج من هذا الطلب، أجاب مباشرةً بأن هذه المقالة تبدو له ممتازة وواعِدة للغاية. وبعدَ أسبوع، ظهرَ جواب بوهر في تعليق تقريظي من أسرة تحرير صحيفة أزفستيا حول لاندو. ومع ذلك، لم تكن هذه الحملة الرائعة والمتعاطفة كافيةً لإنقاذه؛ فقد سُجِنَ بعد ذلك بعدّة أشهر، مُتّهَماً بالتجسُّس لصالح ألمانيا النازية، ولكنّه، في الحقيقة، سُجِن لأنه انتقد سياسة حكومة الاتحاد السوفييتي. كان لا بُدّ من التدخُّل المباشر لدى "ستالين" عن طريق "بيوتر كابيتزا"، أفضل خبيرٍ فيزيائي سوفييتي في تلك الفترة، لكي يتم إطلاق سراح لاندو بعد سنة. قبل عدة سنوات من هذا التاريخ، كان كابتيزا قد اكتشفَ في مختبره ظاهرة السيولة الفائقة، أي الغياب التام للُزوجة (احتكاك داخلي)، التي تُميِّز بعض السوائل في درجات حرارة قريبة من الصفر المطلق. طَلَبَ كابيتزا إطلاق سراح لاندو، معللاً طلبه بأن الفيزيائي الشاب هو وحدَه، من بين الفيزيائيين السوفييت، القادر على أن يكشف سرّ هذه الخاصّية المتناقضة، وأن

يُظهِر بذلك تفوُّق العلم السوفييتي. أُطلقَ سراح لاندو فعلاً، وبعد عدة أعوام، قدَّم عملاً كبيراً حول دراسة السيولة الفائقة، وهذا ما جعله يُكافأ بجائزة نوبل للفيزياء عام 1962.

بعد هذه الجولة التاريخية الطويلة، نعودُ إلى فكرة كلارك عن "نجمية" المشتري. فهل يُمكِن أن تكون فاعلة حتى على الورق؟ الجواب كلّا. فأصغر كتلة لنجمٍ نيوتروني، كما بيَّن "روبرت أوبنهايمر" (الذي سيصير لاحقاً أبَ القنبلة الذرية الأميركية) في عام، تبلغ حوالي عُشر كتلة الشمس. ولا يمكن أن توجد أجرام أقلّ حجماً في الحالة النيوترونيّة، لأنَّ جاذبيّتها غير كافية لإبقائها مضغوطةً. وإذا ما تمكنّا من انتزاع قطعة من الكوكب النيوتروني، سينفجر تحت الضغط المُتبادَل لجزيئاته التي تُكوِّنه، الضغط المُركَّز جداً مع هذه الكثافات العالية. وهكذا يستحيل تَخيُّل المشتري وهو يتحول إلى نجمٍ نيوتروني، بحُكم أنَّ كتلته أقلّ مئة مرة من الكتلة الدنيا اللازمة.

وفي الواقع، تُمثِّل فكرةُ "تكثيف" الجزء الداخلي لكوكبٍ مّا مشكلةً أخرى لم يكن لاندو قادراً على تصوُّرها، على الرغمَ من براعته. لن يستطيع نجمٌ من هذا النوع أن يُشبه، في أيِّ حالٍ من الأحوال، الشمسَ أو النجوم "العاديّة" الأخرى؛ بل سيكون بالأحرى عملاقاً أحمر، نجماً يملك مركزاً كثيفاً وغلافاً خارِق الاتِّساع. اكتشفَ الفيزيائي الروسي "جورج غاموف" وزميله الإستوني "أرنست أوبك"، بنية هذه الأجرام المُذهلة (التي هي، في الحقيقة، نجومٌ مُعَمَّرة) أوّل مرة، في نهاية الثلاثينيات. لكن حتى في أيّامنا هذه، لم تُفهَم آليّة تكوينها الصحيحة، بكلِ تفاصيلها. ومع ذلك، فنحن نعرف أنّ الشمس سوف تتحوَّل، خلال عِدّة مليارات من السنين، إلى عملاقٍ أحمر، لأنَّ إضاءتها ستتعاظم مئات المرات قياساً إلى قيمتها الحالية.

لم يكن كلارك وحدَه الراغب في "تحويل الكوكب العملاق إلى نجم". فثمّة أيضاً مشاريع مُتقَنة رأت النور، ولكن لا يبدو أيٌّ منها مقنعاً بشكل كاملٍ اليوم.

إذاً يمكن أن نرجو بقاء المشتري أيضاً مدّةً طويلة على حاله الراهنة، بمنجىً من مخاطرِ خالِقي النجوم الأغرار.

قِصص نهايـات العالم

إن رؤى المستقبل التي تطرقنا إليها حتى الآن متفائلة على نحوٍ قاطع، لأنها تفترض أن الإنسان لن يتوصّل إلى أن يستمر في الحياة طيلة قرون قادمة وحسب، بل إلى أن يوسِّع إمبراطوريته في الفضاء، وأن يرفع مقدراته التقنية إلى حدود تكاد تكون لانهائية. تمّ تبنّي هذا الموقف في عديد من أعمال الخيال العلمي، خاصةً خلال "عصره الذهبي" حتى الخمسينيات. قد تبدو لنا هذه الرؤى اليوم سانجةً تماماً، لكنْ يستحيل إقصاؤها حالياً عن بانوراما "المستقبل الممكن".

ثمّة ضروب مستقبل أُخرى يُمكن توقُّعها أيضاً. إذ يندر أن نُصادف "نمواً بدرجة الصفر" في أدب الخيال، لأنّـه من دون شك النموُّ الذي لا يمنح الجديد، والحلم، والفعل إلا حيِّزاً ضيِّقاً. ومع ذلك، توحي أزمة كوكبنا الراهنة (الاقتصادية، والبيئية، إلخ.) بأنّ سيناريو كهذا هو وحدَه، على الأرجح، الحلّ من أجل الاستمرار في الحياة، على الأقل مؤقتاً، إلى الحد الذي تستطيع عنده الأرض أن تشفي جراحها.

من بين مؤلِّفي الخيال العلمي القلائل الذين تفحَّصوا هذه الحالة ببعض الأصالة، نجد من جديد "آرثر س. كلارك". فهو يُقدّم في كتابهِ "المدينة والنجوم"، دياسبار بوصفها *"المدينة الخالدة"*، المدينة العملاقة، والمثالية، والمتفرّدة على الأرض. تعيش زينةُ التكنولوجيا الأرضية هذه، التي تحميها قُـبّة عملاقة، سليمةً كاملة خلال نصف مليار سنة في المستقبل، على أرضٍ شبه صحراوية. ويعود عدم الاهتمام بالعالم الخارجي إلى الصدمة التي أحدثتها هزيمة سكّان الأرض الرهيبة في الماضي السحيق، عندما كانوا يحاولون غزو الكواكب ولا بُدّ أنّهم جابهوا القوى الفضائية. ومع ذلك، دفع الفضولُ الشابَّ آلفين إلى الخروج من المدينة واكتشاف ليز، المدينة الأقلُ تقدُّماً تقنياً بكثير من دياسبار،

ولكنها تتفوّق عليها كثيراً في التقدّم الروحي. وعلى الرغم من هذه الفروق، يجمع بين المدينتين شيءٌ عام: كلتاهما توقّفتا منذ زمنٍ طويل عن التطوّر، وعن إظهار هذه الخاصية التي تُميِّز جملة الأنواع الحيّة، أي النزوع إلى التوسُّع. ولكي يُبيِّن كلارك عبثية حال الركود الأبدي، أرسل آلفين ورفيقه من مدينة ليز في رحلةٍ إلى النجوم، وهذه مرحلة أولى من نهوض حضارةٍ "نائمة".

إنَّ سيناريوهات "نهايات العالم" كثيرة جداً، وهذا أحد الموضوعات الأكثر غنىً والأكثر استخداماً في أدب الخيال، لكنه أيضاً الأصعب مُعالجةً. تماماً كما يُشدِّد "جاك فان هيرب" في كتابه المُدهش "بانوراما الخيال العلمي" : "لم يعُد أيُّ موضوعٍ يوحي بالفكرة التي يكوِّنها المؤلِّف عن الإنسان ومكانه في الكون". في هذه السيناريوهات، ستندثر الحضارة البشرية عاجلاً أم آجلاً، عقب كارثةٍ طبيعية أو جنونٍ قاتِلٍ لأعضائها. بعضُ ممثِّلي هذا النوع البشري ينجون، أحياناً، ليبدؤوا كلَّ شيء من جديد، ويبنوا حضارة جديدة. وفي أحوالٍ أخرى، يفنى النوع البشري بالكامل تاركاً الأرض إرثاً لِشكلٍ آخر من الحياة. وفي سيناريوهات أُخرى أيضاً، تُدَمَّر الأرض عن بكرة أبيها، وتُدمَّر حتى الشمس والمجموعة الشمسيه، وتُجبَر الحضارة، أو ما تبقّى منها، على الهجرة إلى كواكبَ أخرى.

هذه الرؤية المتشائمة لمستقبل الإنسان، التي تَنعَكِسْ بشكل رائع في عبارة "بول فاليري" "نحنُ الحضارات الأخرى، نعرفُ الآن أننا فانون"، حديثةٌ نسبياً في تاريخ الأفكار. لقد خَلقَ التقدم العلمي والتقني في القرن التاسع عشر جواً متفائلاً، بصورة حاسمة، إزاء ما يتعلق بقدرات النوع البشري على السيطرة على الطبيعة، وعلى مصيره الخاصّ في آنٍ معاً، ولم يكن معقولاً أن الإنسانية يمكن، ذات يوم، أن تختفي إلى الأبد. لكنْ، منذ بداية القرن العشرين، ظهرت عدة أعمال تُعلِنُ عن مستقبل قِيامي. إلا أن الحرب العالمية لم تكن قد اندلعت، ولم تكُن أسلحة الدمار الشامل قد ظهرت بعدُ. وبحسب "فان هيرب"، أسهم حدَثانِ في هذا التغيير للأفكار.

الحَدَث الأول هو اكتشاف الحضارات المُندثِرة. حيثُ يعود اكتشاف المدن السومرية والأكّادية في بلادِ الرافدين إلى أواسط القرن التاسع عشر؛ واكتُشفت الحضارة المقدونيّة عن طريق حفريّات "هنريش شليمان" في موقع طروادة، في آسيا الصغرى، في سبعينيات القرن التاسع عشر؛ وحضارة كريت التي تمّ اكتشافها إثر العثور على حجر فيستوس عام 1870 لقد أظهرت هذه المُكتَشفات حضارات متقدّمة نسبياً ورفيعة، وأحياناً متفوّقة على تلك التي أعقبتها. ففكرة أنّ الحضارة لا تستمِرّ في التقدّم بشكلٍ حتميّ، بل تشهد صعوداً وهبوطاً، ليست بالفكرة الجديدة، ولا سيّما إذا أخذنا بالحسبان مثالَي اليونان وروما، لكنّ فكرةَ إمكانية أن تُبادَ الحضارة إبادةً نهائية بدأت تشقّ طريقها.

كان الحدث الثاني الذي طبعَ بداية القرن العشرين هو تدمير "سانت بيير" في جزر المارتينيك، وميسينا في إيطاليا، وسان فرانسيسكو، تدميراً تامّاً تقريباً؛ ففي سنة 1902 نفسها، دُمِّرَت هذه المدن الثلاث، الأولى بانفجارٍ بركاني، والاثنتين الباقيتين بالهزّات الأرضية. كانت الصدمة عميقة الأثر في الرأي العام: فعلى الرغم من التقدُّم التقني، كانت الطبيعة مرةً أخرى سيِّدة اللعبة، وكان مصير الإنسان في أيدي قوى عمياء، وغير واعية، قادرة في أية لحظة على تدمير وجوده على الأرض. وهكذا توقّع كثيرون من مؤلّفي تلك الفترة اختفاء الحضارة البشرية، عقب انفجار بركاني، أو كارثة أرضيّة، أو نوع آخر من النكبات البشرية. بعد ذلك بفترةٍ وجيزة، قوّى اكتشاف سرّ الذرة، وظهور وسائل الدمار الشامل، نظرةَ التشاؤم المُتّصلة ببقاء البشرية.

من بين المؤلفين الذين استشفّوا مستقبلَ نوعنا على المدى الطويل يحتلُّ "أولاف ستابلدون" مكاناً استثنائياً بفضلِ عمله "آخر الرجال وأوّلهم". إذ استبصر هذا العمل الملحمي الذي نُشر عام، مستقبل النوع البشري على مدىً زمني لم تتِمَّ تغطيته في السابق إلا نادراً، حتى في مؤلّفات الخيال العلمي.

يصِفُ "ستابلدون" مستقبلَ الإنسان، متأثراً، بوضوح، بعمل المؤرِّخ

الألماني الكبير "أوسفالد سبنغلر"، كسلسلة من وثبات الحضارات المُتعاقبة، وانحداراتها. يبدأ من حضارتنا الخاصّة، نحن "البشر الأوائل"، الذين ستنتهي سطوتهم خلال عدة آلاف من القرون بالفناء شبه الكلي بعد الاستعمال الواسع للسلاح الذري (الذي لم يكُن في عام 1930 قد تّم اكتشافه بعد!). سيبقى على قيد الحياة فقط حفنةٌ من الرجال والنساء، وتغرق الإنسانية بعدها في حقبةٍ من البربرية التي ستدوم عشرة ملايين سنة. وحينئذٍ يظهر النوع البشري الثاني، الذي سوف يشهد الحرب المدمِّرة ضدَّ سكان المرِّيخ (هاهنا تشابه مذهل مع "حرب العوالم" لهربرت ج. ويلز)، ويختفي في عصرٍ جديد مظلم طيلةَ ثلاثين مليون سنة.

هكذا تتوالى الحضارات على الأرض خلال مائتي مليون سنة تقريباً. أمّا سكان الأرض فينتمون إلى الصنف الخامس الذي هاجر إلى الزهرة، خوفاً من تقارب القمر والأرض (!)، بعد أن عملَ على تغيير الجو العدائي للكوكب؛ وهذا هو الظهور الأول في الأدبِ لمفهوم التأهيل مثلما رأينا في الفصل الأول. يبدو أنّ أقلمة الزهرة صعبة، وخلال سبع مئة مليون سنة، سوف تتوالى على الكوكب الشقيق ثلاثة أعراق إضافية، ليس بينها وبيننا أيُّ شبهٍ فيزيائي. أمَّا العِرق الثامن فسوف يستخدم، وهو يتأكّد من أن الشمس مهدَّدة بالاحتراق نتيجة تصادمها مع غيمةٍ غازية بين نجميّة، معارفه في الهندسة الحيويّة (لم يستخدم ستابلدون حقاً هذا المصطلح!) لخلقِ عرق "البشر التاسع"، القادر على البقاء في بيئة نبتون العدائية للغاية. وهكذا تتوصَّل الحضارة "البشرية"، المنقولة إلى هذا الكوكب البعيد، إلى أن تبقى حيّةً خلال مليار سنة أخرى، وتشهد بدورها فتراتٍ طويلةً من العظمة والتقهقر. وتنتهي ملحمة البشرية النبتونية مع العِرق الثامن عشر الذي يكتشف أن الشمس غير المستقرّة ستنفجرُ بفعلِ عمليةٍ غير معروفة (؟) خلال عدّة آلاف سنة فقط، وهي فترة أقصر جداً من أن يُباشَر بأيِّ شيء لإنقاذها.

كان "ستابلدون"، أستاذ الفلسفة، يجهلُ الخيال العلمي جهلاً تامّاً. لذا فقد

كتب ملحمة "آخر الرجال وأوّلهم" على شكل بحث حول التطور المستقبلي للنوع البشري في سياقٍ كوني. لا شك في أنَّ أحداً غيره كتب هذا، أو سوف يكتبه أفضل منه. وكما يُؤكِّد "جاك فان هيرب"، "... الخطوط العريضة لهذا التطور مُقتَبسة من علم الأسطورة، أو علم نشاة الأكوان الإشراقي...، لكنَّ الأمر الخاصّ بستابلدون، هو هذا التشاؤم الجوهري الذي يريد أن يعتقد أنّه كلّما نهض عِرقٌ، وجب أن تُدمِّره الحرب، أو أن ينتهي بالتدمير الذاتي...".

من المؤكّد، بصرف النظر عن الرؤى المتشائمة أو المتفائلة لمستقبل حضارتنا، أنَّ ثمّة كوارثَ كونية يمكنها أن تدمِّر الحياة على الأرض، وأنَّ احتمالها ليس معدوماً، وإن كان ضعيفاً.

خطرٌ سماوي

تحتلُّ نهاية العالم بحسب إنجيل "القديس يوحنا"، الكتاب الأخير من العهد الجديد مكانة متميِّزة بين الأعمال ذات الطبيعة الأُخْرَوية (من اليونانية *eschatos* = أخير). يسرد هذا الكتاب، المؤلَّف حوالي العام 95 بعد الميلاد، الأحداث المختلفة التي من المفروض وقوعها في نهاية الزمن، كإشاراتٍ تُمهِّد ليوم الحساب. ولعلَّ إحدى أكثر الصُّوَر قوةً هي تلك التي يظهر فيها الملائكة السبعة، وهم ينفخون أبواقهم السبعة، وكل بوقٍ يُعلِن كارثةً خاصة. وعلى صوت البوق الثاني، "... قُذفت من السماء كتلة متوهّجة ضخمة، وكأنها جبل، لتسقطَ في البحر، فتحوّل ثلث البحر إلى دم؛ فهَلَكَ ثلث المخلوقات الحية في البحر".

من الواضح أنَّ أصدقاء "أستيريكس بلاد الغال "لم يكونوا وحدَهم الشجعان الخائفين من أن "تسقط السماء على رؤوسهم". إنَّ لهذا الخوف من كارثةٍ عظمى تأتي من مصدرٍ سماوي جذورَه، على الأرجح، في ظاهرة الشُّهُبْ. فقد سبق أن رأينا في الفصل الأول أنه كان ينبغي انتظار نهاية القرن الثامن عشر حتى تتقبّل المجموعة العلمية إمكانية سقوط الصخور من السماء. وعلى

الرغم من ذلك، فإن سقوط هذه الصخور لم يكن أبداً مرتبطاً بأية كارثةٍ مُرعبة، على الأقل حتى القرن العشرين.

في 30 حزيران/يونيو من عام 1908، اخترقت كرةٌ نارية بسرعةٍ فائقة سماء وادي تونغوسكا في سيبيريا الوسطى. وبعدها بعدّة ثوانٍ، حدثَ انفجارٌ ضخمٌ أدى إلى تقويض ما يقرب من كيلومتر مربّع من الغابة، غير المأهولة لحسن الحظ. دفع الانفجار حتى طبقة الغلاف الجوي العليا ملايين الأطنان من الغبار الذي عكسَ ضوء الشمس، ممّا سمح بقراءة صحيفةٍ أثناء الليل في لندن، على بعد 10000 كيلومتر من تونغوسكا. لم تُثِر الحادثة، التي رواها أهل تونجوسكا، اهتمام حكومة القيصر، على بعد ألف فرسخ من هذه المنطقة النائية من الإمبراطورية الشاسعة. ولم تجد البعثة العلمية الأولى التي وصلت إلى المكان عام أية علامة على الحياة. بل كانت حول نقطة الصدمة منطقةٌ بحجم باريس مدمَّرة بشكل كامل، وكأنَّ التربة كانت قد قلبتها آلاف الجرّافات. في خارج هذا المحيط ترقد آلاف الأشجار التي فحَّمها الحريق العملاق. وعلى مسافةٍ أبعد في الخارج، كانت الأشجار مُقتلعة، أو ساقطة على الأرض نتيجة موجة الصدمة التي سببها الانفجار الهائل.

من ضمن الافتراضات المختلفة التي قُدِّمت لتفسير ظاهرة تونغوسكا، الافتراض الوحيد الذي يبدو اليوم معقولاً هو انفجار نيزك داخل الغلاف الجوي. فربّما يتعلّق الأمر، بحسب التقديرات، بكويكب صخري يبلغ قطره ثلاثين متراً، وتمثّل كتلته عشرات آلاف الأطنان. كان الكويكب قد خَضَعَ مع دخوله الغلاف الجوي بسرعة عشرين كيلومتراً/ثانية (حوالي 70000 كيلومتر/ساعة) لضغطٍ هائل على وجهه الداخلي، أدّى إلى انفجاره قبل وصوله إلى الأرض (وهذا ما يفسّر غياب الفوّهة في المنطقة المُصابة). ولو كان النيزك مكوّناً من معادِن ثقيلة، مثل الكويكبات الحديدية، لأمكنه الوصول إلى الأرض، وخلق فوّهة قطرها أكثر من كيلومتر وعمقها مئة متر. لا بُدَّ أنَّ منطقة من عدة آلاف الكيلومترات المربعة قد تأثّرت بالهزّة الأرضية، وتساقُط

المواد التي اقتعلها الانفجار. ذلك أنَّ حدثاً من هذا النوع (كويكب حديدي قطره ثلاثون متراً) هو، بحسب كل الاحتمالات، أصل الفوّهة النيزكية المشهورة في صحراء أريزونا، قبلَ حوالي خمسين ألف سنة.

ثمّة حالياً حوالي مئة فوّهة من أصلٍ نيزكي، يفوق قطرها الكيلومتر، معروفة الآن على سطح كوكبنا. يدلّ وجودها، بشكل واضح، على أنَّ خطرَ كارثةٍ مصدرها السماء لا يُشكّل أيّة فرضيةٍ مجانية؛ ولو أنَّ وصول شهاب تونغوسكا تأخّر ثلاث ساعات عن "موعده" مع الأرض، لأدّى إلى إزالة موسكو عن الخريطة.

صُنِّفَتْ هذه التأثيرات النيزكية بحسبِ أهميتها إلى أربعةِ مستويات. نجَد في المستوى الأدنى للسلم الأجسام التي لم تصل إلا نادراً إلى التربة، ولم تُسبِّب إلا أضراراً لا تُذكر. إذ يتعلّق الأمر بأجسام حجمها أقلّ من عشرةِ أمتار، تمرُق بشكلٍ عام من غير أن تُلاحَظْ؛ لأنها تتفجّر أو تتبخّر في الجوّ على ارتفاعٍ شاهق. أمّا المستوى الثاني فيخُصّ أثر الأجسام التي يبلغ قطرها عشرات الأمتار، وتعادلُ طاقتها الحركية طاقةَ قنبلةٍ نووية من عشرات الميغاطَنّ، ويمكن مقارنتها بطاقة الأسلحةِ النووية الأكثر قوّة التي تمّ تصنيعها حتى الآن (آلاف المرات أقوى من قنبلة هيروشيما التي كانت قوتها ميغاطَنّ). تنتمي حادثتا تونغوسكا والفوّهة النيزكية في أريزونا إلى هذا النوع. وبحسب التقديرات الحالية، تتصادم مقذوفةٌ بقطر يفوق الثلاثين متراً مع الأرض مرةً في كل قرن تقريباً. وبحكم أنَّ ثلثي مساحة الأرض مغمورانِ بالماء، وأنَّ أقلّ من عُشر اليابسة مأهول، فلا يسبب هذا النوع من الحوادث خسائرَ بشرية إلا بمعدل مرة واحدة خلال عدة ألفيات. ولم تحدث، على الأرجح، أيّة كارثة كونية من هذا المستوى منذ بداية الحضارة على الأرض.

نصادف في قمة المستوى الثاني أجساماً قطرها عدة مئات من الأمتار، تعادل طاقتها الحركية آلاف الميغاطَنّ، وقد تُدمِّر قارّةً بأكملها. وسقوط جسم من

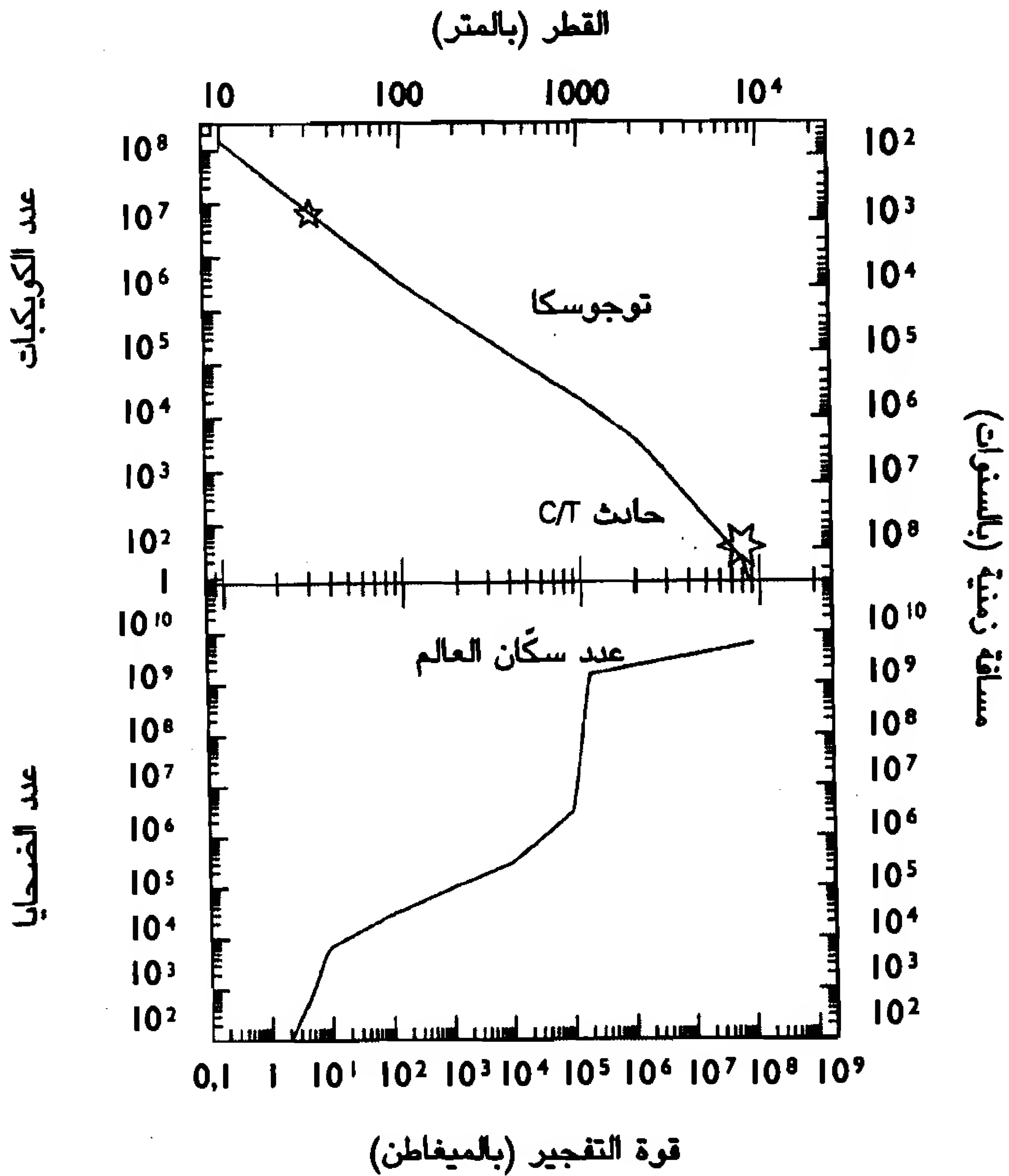
هذا الحجم في المحيط قد يولِّد تسونامي عملاقاً تصل أمواجه إلى ارتفاع عدة أمتار، وقد تنتشر على مساحة عشرات الأمتار في السواحل المجاورة. ومن المحتمل أن أيَّ حَادث من هذا النوع لم يقع منذ ظهور إنسان كرو ـ مانيون (في فرنسا) قبل حوالي خمسين ألف سنة من الآن.

بينما نجدُ على الحدود بين المستويين الثاني والثالث أجساماً قطرها بحدود كيلومتر، وطاقتها الحركية بحدود مئة ألف ميغاطَنّ. يبدأ تأثير نتائج الصدمة من هذا المستوى في مجموع الكرة الأرضية، وليس فقط في منطقة أو في قارّة. ستُقذف كميات هائلة من الغبار والرماد (ناتجة عن حرائق الغابات) في طبقات الجو العليا، حاجبةً ضوء الشمس عدّة أشهر. وستجد النباتات، الغارقة في الظلام، صعوبة في تأمين التمثيل الضوئي، وهي الوظيفة التي تُعدّ قاعدة الدورة الغذائية للحيوانات. ومن جهةٍ أخرى، سيُدمّر انخفاض درجات الحرارة المفاجئ أغلبية المحاصيل مسبّباً مجاعةً عامة. وستعاني بُنى المجتمع البشري كلّها (الصحية، والسياسية، والاقتصادية) معاناة جسيمة من هذه الكارثة، ولن تتمكّن من مواجهتها بنجاح إلّا بلدان قليلة. وإذا ما أخذنا بالحُسبان التردّد الذي تمّ تقديره لهذا النوع من الاصطدام، لم يرتطم بالأرض أيُّ جسم من هذا الحجم، على الأرجح، منذ ظهور إنسان نياندرتال، قبلَ أكثر من مئة ألف سنة. وينبغي ملاحظة أنّ هذه الكارثة الشاملة تشبه كثيراً "الشتاء النووي". يُعبِّر هذا المصطلح عن مجموع نتائج الانفجار المتزامن للترسانات النووية العالمية، وخاصةً في الولايات المتحدة الأميركية والاتحاد السوفييتي السابق. تمَ تقدير هذه النتائج لأوّلِ مرة في بداية الثمانينيات (اعتماداً على دراسة الآثار النيزكية!)، وهذا ما أدى إلى توعية الرأي العام ضدَ النِزاع العسكري للقوتين العُظمَيين في تلك الفترة. ومن حسن الحظ أنَّ خطر مَحرَقة نووية تضاءل منذئذٍ إلى حدّ كبير.

يشترك المستوى الرابع من سلّم الآثار النيزكية مع أجسام قطرها يقارب العشرة كيلومترات. سيتِمّ تكوين جبل بضخامة جبل إفرست، يعبُر

الغلاف الجوّي خلال ثانيتن أو ثلاث ثوانٍ، ويولّد فوّهةً قطرها مئة كيلومتر على الأقل وعمقها أكثر من كيلومتر، وتُحرِّر طاقة تقدَّر بمئات الملايين من الميغاطَنّ. وستقذِف مليارات الأطنان من المواد المتوهّجة، بحرارةٍ تفوق 1000 درجة مئوية، داخل الغلاف الجوي وستتساقط على كامل الكوكب، جاعلةً النار تلتهمُ قارّاتٍ بأكملها. كذلك ستحجب كميات الغبار، والرماد، والسّخام المقذوف في الطبقات العليا، ضوءَ الشمس طيلة سنوات. حتى إنَّ سطح الكوكب نفسه سيغرق في ظلمةٍ تامة، وتنخفض درجة حرارته المتوسطة عشرين درجة، مما سيؤدّي إلى تَجمُّد الجزء الأكبر من الكرة الأرضية، حتى في وسط الصيف. بينما ستكون النتائج على مجموع الدورة الغذائية أكثر مأساويةً أيضاً منها في حالة كارثة من الدرجة الثالثة، وستؤدّي إلى اختفاء الجزء الأعظم من عالمي الحيوان والنبات الأرضيّين. وبعد عدّة سنوات، سيبدأ ضوء الشمس باختراق الغلاف الجوي من جديد، وبتسخين سطح الكوكب. تشعّ الأرض حرارتها عادةً في المنطقة تحت الحمراء من الطيف الكهرمغناطيسي، لكنَّ هذا النوع من الإشعاع سيُمتَصّ بقوة ويُرسَل مرةً أخرى باتجاه التربة بواسطة الكميات الهائلة من غاز الفحم الذي دفعته الصدمة في الجو. وسيولّد "احتباسٌ حراري" هائل يدوم عدّة آلاف السنين مناخاً أكثر حرارة من المناخ الذي نعرفه اليوم.

ربما يقع هذا النوع من الأحداث، بحسب التقديرات الحالية، بمعدّل مرة كل مليون سنة تقريباً. واليوم يُعزى انقراض الديناصورات إلى نهاية عالم بهذا الحجم، حَدَثت قبل مليون سنة. وقد كان علماء الأحافير يعرفون منذُ وقتٍ طويل أنّ حوالي نصف الفقاريات والأجناس البحرية اختفى بشكلٍ مفاجئ في هذه الفترة، التي تقع على الحد بين العصر الطباشيري C، والعصر الجيولوجي الثالث T. وفي نهاية سبعينيات القرن الماضي، بيّن فريق من جامعة بركلي، برئاسة الحائزَيْن على جائزة نوبل للفيزياء "لويس ألفاريز" وابنه "والتر"، أن الرواسب المطابقة للحد بين العصريت (T/C) اغتنت للغاية (على الأقل بعامل ألف بالقياس إلى الرواسب المجاورة) بالإيريديوم، وهو عنصرٌ نادر في القشرة الأرضية.



الشكل 3-2. عدد النيازك "المتقاطعة مع الأرض" بحسب قطرها (في الأعلى) وعدد الضحايا في حال ارتطام كوكبنا بأحد هذه الأجسام (في الأسفل).

في الأعلى: يقل عدد هذه النيازك كثيراً (سلّم اليسار) عندما يزيد قطرها (سلّم الأعلى). وبالعكس، يزداد الفاصل الزمني بين ارتطامين بالأرض (سلّم اليمين) مع حجم النيزك. وضعت الأحداث من نوع "تونغوسكا" و"طباشيري/ثالث" (T/C) على الرسم البياني، في إطار التوضيح.

في الأسفل: عدد الضحايا في حال ارتطام مع نيزك وفقاً لحجم المادة (سلّم الأعلى)، أو طاقة الارتطام (في الأسفل، بالميغاطَنّ من TNT). تحرّر الارتطامات مع أجسام بحجم يفوق الكيلومتر طاقةً تفوق ميغاطنّ، يمكنها أن تُسبِّب "كارثة شاملة"، مدمِّرةً جزءاً مهماً (أكثر من الربع) من سكان العالم. (مقتبسة من س. شابمان ود. موريسون، طبيعة،).

ربّما تبعثرَ محتواهُ من الإيريديوم على سطحِ كوكبنا خلالَ وقتٍ قصير نسبياً. وقُدرِّت الكمية الكلية من إيريديوم الرواسب على الحد T/C بنصفِ مليون طن لمجموع سطح الأرض. وبمراعاة معدّل محتوى الشُّهب من الإيريديوم، فإن ذلك يتطلّب مادةً كتلتها مليار طنّ، وقطرها حوالي عشرة كيلومترات.

أكثرية علماء اليوم قبلوا هذه الفرضية التي أثارت احتجاجات كثيرة خلال الثمانينيات. فقد تمّ اكتشاف أثر الارتطام عام 1991: يتعلّق الأمر بفوّهة شيكسكلوب، الواقعة في شمال شبه جزيرة يوكاتان في المكسيك، التي بلغ قطرها 200 كم تقريباً. ويُقدَّر عمرها بـ 64.98 مليون سنة مع هامش خطأ من حوالي مئة ألف سنة. كانت هذه الفوّهة قد توارت عن عمليات الكشْف فترةً طويلة؛ لأنها بالأساس تحت الماء، ومدفونة بشكل كامل تحتَ كميات من الرواسب المتراكمة. وهي تعتبر حالياً ثاني أكبر فوّهة معروفة على سطح الأرض، بعد فوّهة فريدفورت، التي كانت قد اكتُشِفت عام 1993 في جنوب أفريقيا، وعمرها 2 مليار سنة.

ثمّة مستوى خامس من الآثار تبقى أهميته، مع ذلك، أكاديمية. وهو مُتعلّق بالارتطام بأجسام يفوق قطرُها 200 كيلومتر. لكن لم يظهر أيُّ جسمٍ من هذا الحجم من بين مجموعة النيازك؛ وكما رأينا في الفصل الأول، وقطر أضخمها (وهو غانيميدا 1036) لا يتعدّى 40 كيلومتراً. وبالمقابل، هناك عدّة أجسام من هذا الحجم تدور حول الشمس في المنطقة البعيدة للكويكبات، بين مداري المريخ والمشتري. والارتطام مع جرم بهذا الحجم قد يولِّد فوّهةً قطرها 1500 كيلومتر تقريباً (أكبر بثلاث مرات من مساحة فرنسا)، وعمقها أكثر من ثلاثة كيلومترات، تقذِف في الجو كميات هائلة من الصخور المتبخّرة. وسيُغلِّف كوكَبنا بخارٌ كثيف من الصهارة الذائبة بدرجة قريبة من 2000 درجة مئوية. وستُفضي الحرارة التي يُشعّها هذا "الغطاء" الحارق باتجاه الأرض إلى تبخُّر مياه المحيطات في غضون عدة سنوات؛

وفي الوقت نفسه ستتكاثف الصَّهارة التي تبرد الذي يبرد من الآن وصاعداً، وتُغطّي سطح الأرض بطبقة صخرية بسمك 300 متر. كذلك سيلفُّ كوكبَنا ضبابٌ كثيف للغاية يفوق مئات المرات كثافة الغلاف الحالي، يتكوَّن بشكلٍ يكاد يكون حصرياً من بخار ماء حارق. وبعد عدة آلاف سنة، سيبرد البخار ويتكاثف، بدوره، ليملأ المحيطات من جديد.

على عكس الحوداث من نوع T/C، لن ينجو أيُّ شكل من الحياة (حتى على مستوى مصغَّر جداً) من الكارثة القيامية مع ارتطام بهذه الطاقة الهائلة. من الأكيد أنَّ اصطدامات من هذا النوع وقعت في بداية تاريخ كوكبنا، قبل أربعة مليارات سنة، لكن التعرية محت آثارها فيما بعد. واليوم تشهد الفوّهات العملاقة على سطح القمر، كالفوّهة الشرقية أو إمبريوم، التي تعود إلى تلك الفترة، على مدى قوة الارتطام الجبّار الذي سجل تكوُّن مجموعتنا الشمسية. ولحسن الحظ، انخفضَ عدد هذه الأجسام إلى حدٍّ كبير منذ ذلك الحين. ومن المستبعد أن تلتقي الأرض بنجمٍ من هذا الحجم خلال مليارات السنين القادمة...

سيف داموقليس

كان "داموقليطس"، خادم بلاط "دينيزوس" طاغية مدينة ساراقوزة، يَعتَقِد أن حياةَ سيِّده نهرٌ طويل من السعادة. وإذ رغب دينيزوس في أن يُقنعه بالعكس، دعاهُ ليُقاسمه امتيازاته خلال عدة أيام، وهذا ما وافقَ عليه داموقليطس مباشرةً. وحين كان يجلس على العرش، رَفَعَ عينيه إلى السقف، فرأى سيفاً ضخماً معلقاً بخيط غير مرئي كان موجَّهاً نحوَ رأسه. أراد دينيزوس بذلك أن يُفهِمه أنَّ عرش الطاغية ليس آمناً أبداً.

هل حضارتنا في مأمنٍ من كارثةٍ كونيّة غير مُتوقّعة ؟ فاحتمال ارتطام نيزك ضخم بكوكبنا يؤدّي إلى كارثةٌ عامة احتمالٌ ضعيف، ولكنّه ليس معدوماً. ونظراً لعدد الضحايا الذي سيكون مُرتفعاً في هذه الحال، يبدو الخطر الشخصي

للموت في حادث كارثي من هذا النوع غير قليل. وقد حاول الفلكيّان الأميركيّان، "كلارك شابمان" و"دافيد موريسون"، تقدير هذا الاحتمال في مقالةٍ ظهرت عام 1994 في مجلة Nature. يحدث ارتطام نيزك حجمه أكثر من كيلومتر بمعدل مرّة كلّ 200000 سنة، وهذا يتضمَّن أنَّ احتمال حدوثه خلال الـ 60 سنة من عمر الإنسان، يبلغ حوالي 60/200000، أو بنسبة 1 إلى 300. لنفترض أن ربع الإنسانية يهلك في هذه الحال (حتى بحسب تعريف شابمان وموريسون لـ"الكارثة الشاملة")، وسنجد أنَّ لكلٍّ واحد منّا حظّاً نسبته 1 إلى 12000من الخضوع لهذا النوع من الموت. هذا الخطر ضعيف نسبياً إذا ما قورِن بحال الموت في حادث سيارة (تقريباً 1 إلى 100)، لكنّه يفوق عشرات المرات حال الوفاة في حادث طيارة! إذ يُقدّر هذا الخطر الأخير، بطريقةٍ تقريبية نسبياً، كالآتي: يموت كل سنة حوالي مليون إنسان (مجموع السكان 6 مليارات، يقسم على معدَّل طول عمر الإنسان وهو تقريباً 60 سنة)؛ وهناك على الأقل مئة وفاة في حوادث الطائرات (عشرات من الحوادث الصغيرة التي يرافقها بين وقتٍ وآخر حادث طائرة ركاب). حَظ المَوت إذن في مثل هذا النوع من الحوادث يفوق قليلاً 1 إلى مليون. وبطبيعة الحال، ليس هذا إلا مجرّد معدَّل وسطي فالخطر أكبر بكثير بالقياس إلى القبطان، وشبه معدوم بالقياس إلى أولئك الذين لا يركبون الطائرات على الإطلاق.

يجب التشديد على أن تكرار هذه الحوادث الكارثية القليل لا يشترط إطلاقاً أن الحادث القادم سوف يقع في غضون 200000 سنة. قد يقع خلال 500000 سنة، أو خلال العشرين سنة القادمة. وقد أظهَرَ ارتطام المذنب شوماكر - ليفي بالمشتري في حزيران/يونيو عام 1994 بصورةٍ جليّة، أنَّ اصطدامات من هذا النوع، تُحرِّر حوالي مليون ميغاطَنّ من الطاقة، تُشكِّل على الدوام جزءاً من تاريخ مجموعتنا الشمسية.

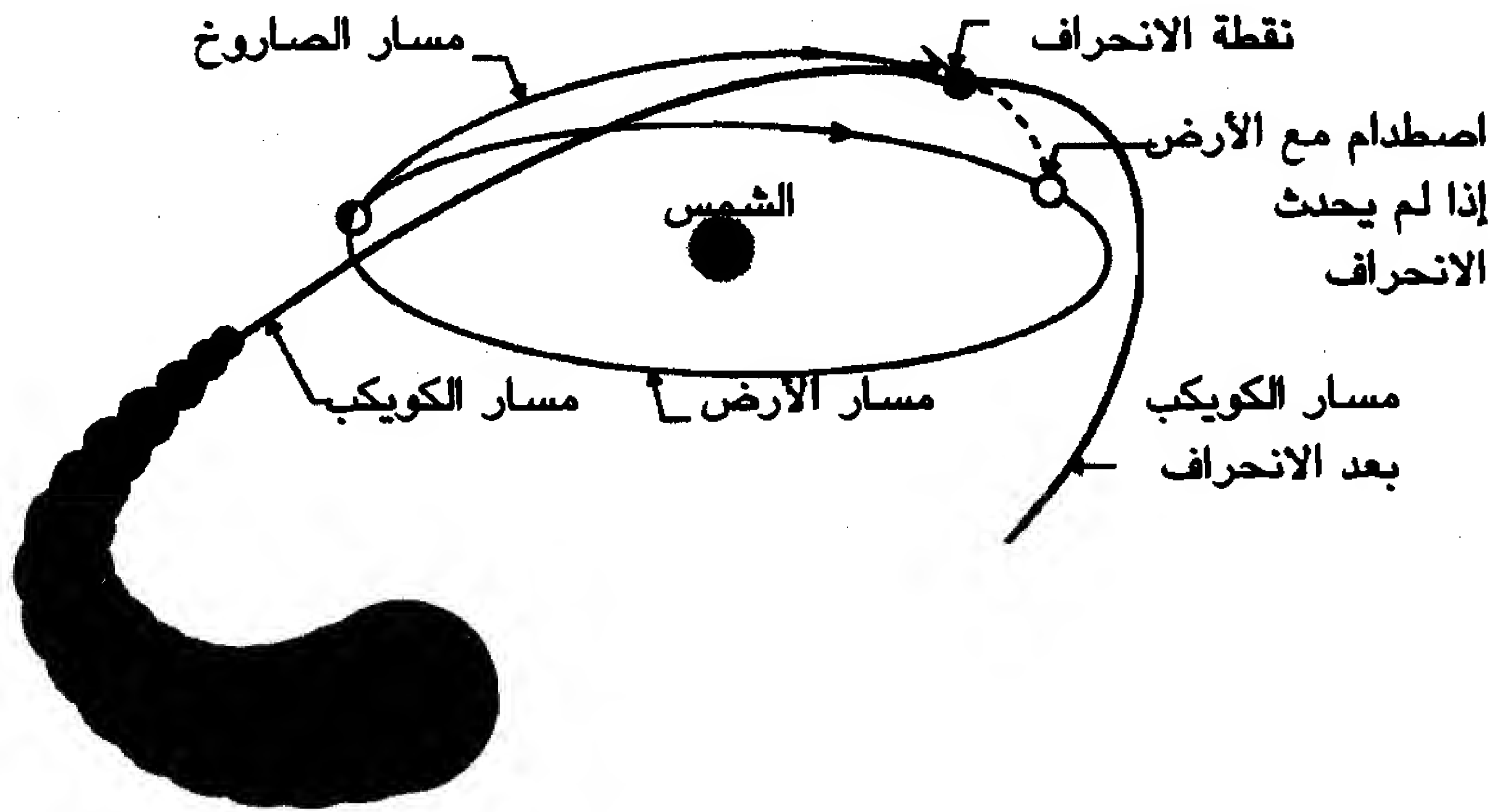
كيفَ نعرفُ أنَّ "كوكب المصيبة" في طريقه إلى كوكبنا؟ وبأيّ ردٍّ يمكننا

أن نواجه "سيف داموقليس" الكوني؟ منذ سنوات، أخذت الأوساطُ العلمية هذه الأسئلة بعين الاعتبار جدياً. لئن تمَّ التفكير بجوابٍ كافٍ على السؤال الأول خلال العشرين سنة القادمة، فالجواب على السؤال الثاني يبدو، على العكس، صعباً نسبياً.

يظلُّ كشْف مشرَّدي الفضاء هؤلاء بعيداً عن أن يكون سهلاً. إذ كلَّما كان الجسمُ صغيراً، كانت كمية ضوء الشمس التي يعكسها ضعيفة وصعبة الكشْف. وإذا كنا نعرف اليوم حوالي مئة كويكب قريب بقطرٍ يفوق الكيلومتر، فإن عددها الإجمالي يقدَّر بأكثر من ألفين. لذا يستغرق وضع جردة كاملة بها، مع الايقاع الحالي لاكتشاف هذه الأجسام، عدّة قرون. لقد درست وكالة الفضاء الأميركية، عام 1992، مشروعاً يتعلّق بالتتبع المنتظم لكل الأجسام القريبة التي يمكن أن يُسبِّب ارتطامها المتوقَّع بكوكبنا كارثةً "شاملة". دُعِيَ هذا المشروع "حارس الفضاء"، من اسم المشروع المماثل في الأُقصوصة الشهيرة "موعد مع راما" لآرثر س. كلارك. سيحتوي "حارس الفضاء" على شبكة من مقاريب بقطر إلى 3 أمتار تتوزَّع بالتساوي على سطح الكرة الأرضية. يتفحَّص النظام، المجهَّز بكاشفات عالية الكفاءة، بشكلٍ مستمر القبة السماوية بأكملها، ويحلِّل الصُّور بحثاً عن أجرامٍ سريعة (المواد القريبة من الأرض تتميز بسرعة ظاهرية مرتفعة). ستصل تكاليف تنفيذ "حارس الفضاء" إلى 50 مليون دولار. وقد يكلّف تشغيله 10 ملايين دولار سنوياً، وربما يمتد على الأقل عشرين سنة، وهو الزمن اللازم لكشفِ جملة الكويكبات القريبة التي يتعدّى حجمها الكيلومتر.

ستعرفُ الحضارات المقبلة، بلا شك، كيفَ تدافعُ عن نفسها ضد ارتطام الكويكبات بالأرض، ولكن لا توجد اليوم وسائل دفاعيّة فعالة. ففي حال جسم صغير نسبياً، لا يمكننا أن نتوقع حالياً إلا إخلاء المنطقة حول نقطة الارتطام؛ والحال أنَّ الموقف في هذه النقطة لن يكون معروفاً بكل تفاصيله إلا بعد عدة أيام قبل الارتطام على أبعد تقدير. وفي حال الأجسام الضخمة، يكون لعامل

"الزمن" أهمية رئيسية. ولن تكفي مهلة أقل من عدة أشهر، وربما من عدة سنوات لردٍّ سريع وفعّال. وخلافاً للفكرة التي نصادفها أحياناً في الخيال العلمي، لن ينفع في شيء استعمال الأسلحة النووية الميغاطنيّة لتفجير النيزك. إذ لا يمكن تدمير جسم بهذه الضخامة ؛ لذا سيكون من الأفضل تجزئته إلى عشرات القطع (بقطر حوالي عدّة مئات من الأمتار) التي قد تستمرّ في مسارها القاتل. وهذا بالضبط ما حصلَ للمذنب شوماكير ـ ليفي سنة، الذي تجزّأ منذ وقت طويل نتيجة قوى مدٍّ المشتري: "قصفت" أجزاؤه سطح الكوكب العملاق. لكن ستكون نتيجة "مطر" من الشهب بهذا الحجم، تتوزع على الكرة الأرضية، أكبر فداحةً بكثير من الارتطام بكويكب سليم.



الشكل 3-3. إيضاح لمبدأ الدفاع الفعّال ضد كويكب يهدد بالدخول في اصطدام مع الأرض. تمّ كشف الكويكب قبل عدة أشهر من اليوم الذي يتقاطع فيه مساره مع كوكبنا. أُطلقَ صاروخ (مزوَّد بمتفجرات نووية أو كيميائية) لينفجر قرب الكويكب ويحرفه عن مساره (مقتبسة من وثيقة النازا المصوَّرة في كتاب كارل ساغان، بقعة شاحبة زرقاء، 1995).

يبدو الانفجار قرب كويكبٍ لحرْفه عن مساره هو وحدَه البديل الواقعي في الوقت الحاضر. فإذا حصل الانفجار قبل سنوات من التاريخ المحتَّم، يكفي مجرَّد

انحراف بدئي طفيف لتجنُّب الارتطام. حتى إنَّ انفجاراً عادياً (كيميائياً) قد يكفي إذا توفَّر لنا زمن من عدة عقود.

لقد ألهمَ موضوع النيازك الكونية التي تُهدِّد كوكبنا كثرةً من مؤلِّفي الخيال العلمي. وغالباً ما يُطلَق على النجم اسم إله مُدمِّر في أساطير الشمال، أو في الأسطورة الهندية. هذه هي حال الأُقصوصة نزول شيفا لكاتِبَيها "غريغوري بنفوند" و"وليام روتسلر" التي نُشرَت عام *1980* (شيفا، المدمِّر، بوصفه الإلَه الثالث في البانثيون الهندي، بعد براهما، الخالق، وفيشنو، المحافظ). ولا شكَّ في أنَّ العمل الأكثر نجاحاً على المستوى العلمي هو *مطرقة الإله* لآرثر س. كلارك، الذي ظهرَ عام *1993*. يقع الحدث في بداية القرن الثاني والعشرين، وهي الفترة التي استوطن الإنسان خلالها القمر والمريخ. كُشِفَ الكويكب كالي (من اسم إلَهة الموت في الأساطير الهندية)، الذي ظهرَ على تخوم المجموعة الشمسية، في مكانٍ مّا وراء مدار المشتري، في مسارٍ ارتطاميٍّ مع الأرض. فأُعطي الإنذار. وبعد عدة أشهر، طارَ طاقم سفينة فضائية للقاء الكويكب وثبّت على سطحه جهاز إطلاق ضخم كان عليه أن يحرف كالي عن مساره. قامت مجموعة مُتشدِّدة بتخريب الجهاز، وظهر تعطُّله، فقرَّر الطاقم "دفع" كالي باستعمال محرِّك السفينة. وبعد تقلبات مُفاجئة كثيرة، تجنَّبت الأرض بالكاد ارتطاماً أمامياً بكويكب الموت؛ فاحتكَّ كالي قليلاً بالغلاف الجوِّي لكوكبنا، مُسبِّباً هلاكَ مئات الآلاف من الضحايا قبل أن يعودَ إلى الفضاء...

لا يطرح الدفاع ضدَ النيازك سوى مشكلاتٍ تقنية. حيث يُشير "أندريا كاروسي"، رئيس هيئة الجمعية الفضائية العالمية، إلى الأجسام الصغيرة في المجموعة الشمسية في مقالةٍ حديثة "... قضية الدفاع ضد أجرام الفضاء صعبة نسبياً، وينبغي العمل بمزيدٍ من الحذر، لكي نتجنّب أن تُقدِّم هذه القضيّة ذريعةً لتطوير تقنيات الحرب...". وفي الحقيقة، من الممكن أن تستخدم بعض الدول حرْفَ هذه الأجرام بواسطة المتفجرات النووية،

ذريعةً للاستمرار في التجارب النووية، أو لتطوير أسلحةٍ جديدة. ومن جهةٍ أخرى، ربما تستخدم السيطرة على تقنية حرْف هذه الأجسام عن مسارها لأغراض عدوانية أيضاً. إذ يجلو "كارل ساغان" هذا القصد في كتابه "بقعة زرقاء شاحبة" من خلال قصة سبخة كامارينا.

في القرن السادس قبل الميلاد، قرّر سكّان كامارينا، المدينة الصغيرة في جنوب صقلية، تجفيفَ السبخة المجاورة، لأنهم يعتبرونها المسؤولة عن وباء الطاعون الفظيع. وعلى الرغم من رأي المرجع الديني السلبي الذي نصحهم بالصبر، عملوا على تنفيذ خطتهم، وتوقّف انتشار الوَباء فعلاً. ولكن في عام 552 قبل الميلاد، عبَر جيش المدينة المجاورة سرقوزة، الأرضَ التي كانت مجفّفة منذ ذلك الحين، والتي لم تعد تشكّلُ مانعاً، ليذبحَ الكاماريين كلَّهم ويمحو المدينة عن الخارطة.

تُصوِّر قصة سبخة كامارينا كيفَ أن إجراءات غير مدروسة دراسةً كافية تؤدّي، أحياناً، إلى كارثةٍ أسوأ من تلك نريد أن نتفاداها. لذا ينصحُ "ساغان" بتوخّي الحذر الشديد في تهيئة دفاعٍ فعّال ضدّ الكويكبات. إذ سيكون من الضروري لإنجاح هذا المشروع، أن يتِمَّ التعاونُ بين العلماء، والعسكريين والسياسيين، وإعلامُ الجمهور، والتحسينُ المستمر للعلاقات الدولية. فإذا ما سلكنا سبيل الحكمة هذا، قد يُسهِم خطر كارثة كونية في تقوية تضامن نوعنا البشري...

كارثـة حتمية؟

يوجدُ نوع آخر من الكوارث الكونية التي قد تضرب كوكبنا ربما على المدى البعيد: كانفجار المُستعِر (السوبر نوفا) في جوار المجموعة الشمسية. يُعدّ المستعر من بين الظواهر الأكثر عنفاً وطاقةً في الكون والمؤشّر على نهاية حياة كوكبٍ ما. في لحظة هذه الانفجارات، تتحرر كميات هائلة من الطاقة. تُرسلُ خلال

وقتٍ قصير نسبياً، يتراوح بين عدّة ثوانٍ وعدّة ساعات، "ومضة" من أشعة X وفوق البنفسجية، من سطحِ النجم الذي تصل حرارته إلى مئات الآلاف من الدرجات. طاقة هذه الومضة تُعادل الأشعّة التي تُرسلها الشمس خلال عشرات الملايين من السنين. وخلال الأشهر اللاحقة، يُرسِل سطح الكوكب طاقةً تبلغ عشرة أضعاف طاقة الومضة، على شكلِ أشعة غاما، وهي فوتونات نشِطة جداً تتحرر نتيجة تناقص إشعاع النواة الذرية المتولِّد لحظة الانفجار. وأخيراً، وخلال فترة تتراوح بين عشرات السنين وعدّة قرون، تُرسَلُ، مرّةً أخرى، طاقةٌ أكبر بعشرة أضعاف على شكلِ جُسيمات (بروتونات، ونُوى، والكترونات) مُسرَّعة بواسطة الانفجار إلى سرعة قريبة من سرعة الضوء.

من الواضح أن نتائج تسونامي نشِط كهذا ينهال على كوكبنا، تخضع لِمسافة الانفجار. إذ سينسِف مُستعِر، واقعٌ على مسافة من النجم الأقرب تبلغ أربع سنوات ضوئية تقريباً، الطبقاتِ الخارجية من الغلاف الجوي الأرضي، ويُسخِّن الباقي إلى حرارة تفوقُ بعشرات الدرجات المعدَّل الحراري الحالي: ستنهال على كوكبنا، خلال سنوات، كارثة العواصف العنيفة، والأمطار الطوفانية، والحرائق العملاقة. وسيُكمل التفجير الكثيف للأرض، بواسطةِ حشودٍ من جُسيمات المُستعر، تدميرَ كلّ شكلٍ من أشكال الحياة على سطح الأرض. ومع ذلك، سينجو من الكارثة عالماً الحيوان والنبات المائيّان لأنّهما يعيشان على عمق يفوق عدة أمتار.

في كتاب الخيال العلمي "الجحيم"، الذي ألّفه عالم الفيزياء الفلكية الشهير "فريد هويل" بالاشتراك مع ابنه "جيوفري" عام 1962، يصفُ النتائج الأرضية لانفجار أكثر ضخامةً أيضاً: تضطرم نواة مجرَّتنا بشكلٍ مفاجئ، ولكن بما أنها توجد على بُعد سنة ضوئية، فالآثار على كوكبنا تكون مشابهة لتلك التي يُسبِّبها مُستعِرٌ قريب. احتمال هذا السيناريو ضئيل إلى أقصى حدّ، لكن الآثار الفيزيائية وصِفَت بطريقةٍ استثنائية.

من حُسن الحظّ أنَّ احتمال انفجار المُستعر في جوارنا المباشر احتمالٌ لا يعُتدّ بهِ، حتى على المدى البعيد. وفي الواقع، لن تتمكن النجوم الأكثر قرباً منّا تفجير مُستعِرٍ إطلاقاً، لكنها سوف تموت بهدوء مثل شمسنا لأن كتلتها لم تكن ضخمة إلى حدٍّ كافٍ. ولو أخذنا بالحسبان أنَّ تردُّد المستعر في مَجرَّتنا، بمعدَّل ثلاثة انفجارات في القرن، لأمكننا تقدير احتمال انفجار كهذا، على مسافة أقلّ عدّة سنوات ضوئية من الشمس، أي أقلّ من انفجار كل 100 مليار سنة تقريباً. هذا يدلُّنا على أنَّ أيّ مُستعِرٍ لم ينفجر على الأرجح، منذُ 4.5 تكوين المجموعة الشمسية، منذ مليارات سنة، في منطقة قريبة جداً من الأرض؛ وبالتالي، نستطيع برصانةٍ نسبية أن نتوقّع المستقبل، وحتى المستقبل البعيد جداً.

طبعاً، احتمال انفجار مُستعر على مسافةٍ أعلى عشرة أضعاف، حتى من حوالي خمسين سنة ضوئية، احتمال أكبرُ ألف مرّة، أي بمُعدّل واحد كل سنة "فقط". هذه الفترة الزمنية هي أطول بكثير من عمر النوع البشري، لكنها ليست ضخمة على المستوى الفضائي. وبالفعل، إذا اعتمدنا مئة مليون سنة كوحدةٍ زمنية، نرى أن عمر الشمس الآن هو 45 "سنة" كونية ويبقى منه سنة تقريباً. إذاً، أغلب الاحتمال أنَّ حضارتنا، فيما لو عاشت مدّة طويلة جداً كرؤى "ستابلدون"، فلا بُدّ أنها ستواجه مرّاتٍ عديدة حدثاً كارثياً من هذا النوع.

من حسن الحظ أنّ قوة آثار الانفجار تقلّ طرداً مع مربّع المسافة وقد تكون الصدمة على الأرض مئة مرة أقل أهمية من تلك التي رأيناها سابقاً. وحينئذٍ سيأتي الخطر الأكبر على الحياة في كوكبنا من تقويض طبقة الأوزون. حيثُ تمتصّ هذه الطبقة الرقيقة جداً، بسماكة عدة مليمترات، الواقعة على ارتفاع 30 كيلومتراً تقريباً، الجزءَ الأكبر من الإشعاعات فوق البنفسجية، المسؤولة عن الإسمرار، وعن عدد كبير من سرطانات الجلد. وستُحرِّض الأشعة النشِطة للمُستعر (أشعة X وغاما أو الجسيمات) سلسلة معقدة من التفاعلات الكيميائية في الغلاف الجوي، التي تدخل فيها بشكلٍ خاص جزيئات الآزوت. قد تدمِّر هذه

التفاعُلات بين 50 و90 من الأوزون الجوي، في فترات تتراوح بين عدة سنوات وعدة قرون. ولا تُتيح الشكوك الحالية، التي ترتبط بِتَعَقُّدْ الكيمياء الجوية، تقديراً دقيقاً لكثافة الظاهرة، لكن يبدو من الأكيد أنَّ نتائجها قد تكون مأساوية على معظم أشكال الحياة.

ماذا يمكن أن يكون فعل حضارة المستقبل في مواجهة خطرٍ كهذا؟ تأتي المشكلة الرئيسية من عدَم قُدرتنا على التنبؤ بزمن انفجار كوكبٍ مّا في المستعر: سوف تسقطُ ومضة أشعة X، وأوّل إشعاعات غاما على الطبقات الجويّة العليا في الوقت نفسه الذي يعلنُ فيه الضوء عن الانفجار، ممّا لن يترك لنا وقتاً للردّ. صحيح أنَّ الجزء الأكبر من الطاقة سيُحمل، في حال انفجار كواكب ثقيلة، بواسطة النيوترينوات، وستصل هذه الجسيمات النكية بعد ساعات على الأقل قبل الضوء كما حَصَلَ في شباط/فبراير، مع النجم الجديد SN1978A في المجرّة القريبة من سحابة ماجلّان الكبيرة. قد تكفي مهلة من عدَّة ساعات أو عدَّة أيام لتحضير ردٍّ معين. مما يستلزم تركيب ألواح ضخمة عاكسة في المدار حول الأرض، ويوجِب أن يكون موقعها بين المستعر وبيننا بمجرّد تلقّي الإشارة النيوترونية؛ وقد نحتاج إلى العديد منها، لأنها مهددة بالذوبان بسرعة نسبية تحت هجمات أشعة المُستعر...

هل يمكِن التنبوء بنهاية التاريخ ؟

يرسم "جورج مينوا" في عمله البارع "تاريخ المستقبل، أنبياء الاحتمالات"، بانوراما مدهشة عن العلاقات التي ربطت الحضارات المختلفة بالمستقبل. كان أوّل أتباع المِلل المسيحية المتعددة، وكذلك آباء الكنيسة حتى القرن الثالث، يعتقدون أن نهاية العالم وشيكة. عديدون هم المفكّرون المَدرَسيُّون في العصور الوسطى الذين عكفوا على حساب تاريخ نهاية العالم اِنطلاقاً من قصص الأناجيل والتوراة. وقد بلغ المذهب الألفيّ النبوي أوجَه طيلة فترة الحروب الدينية.

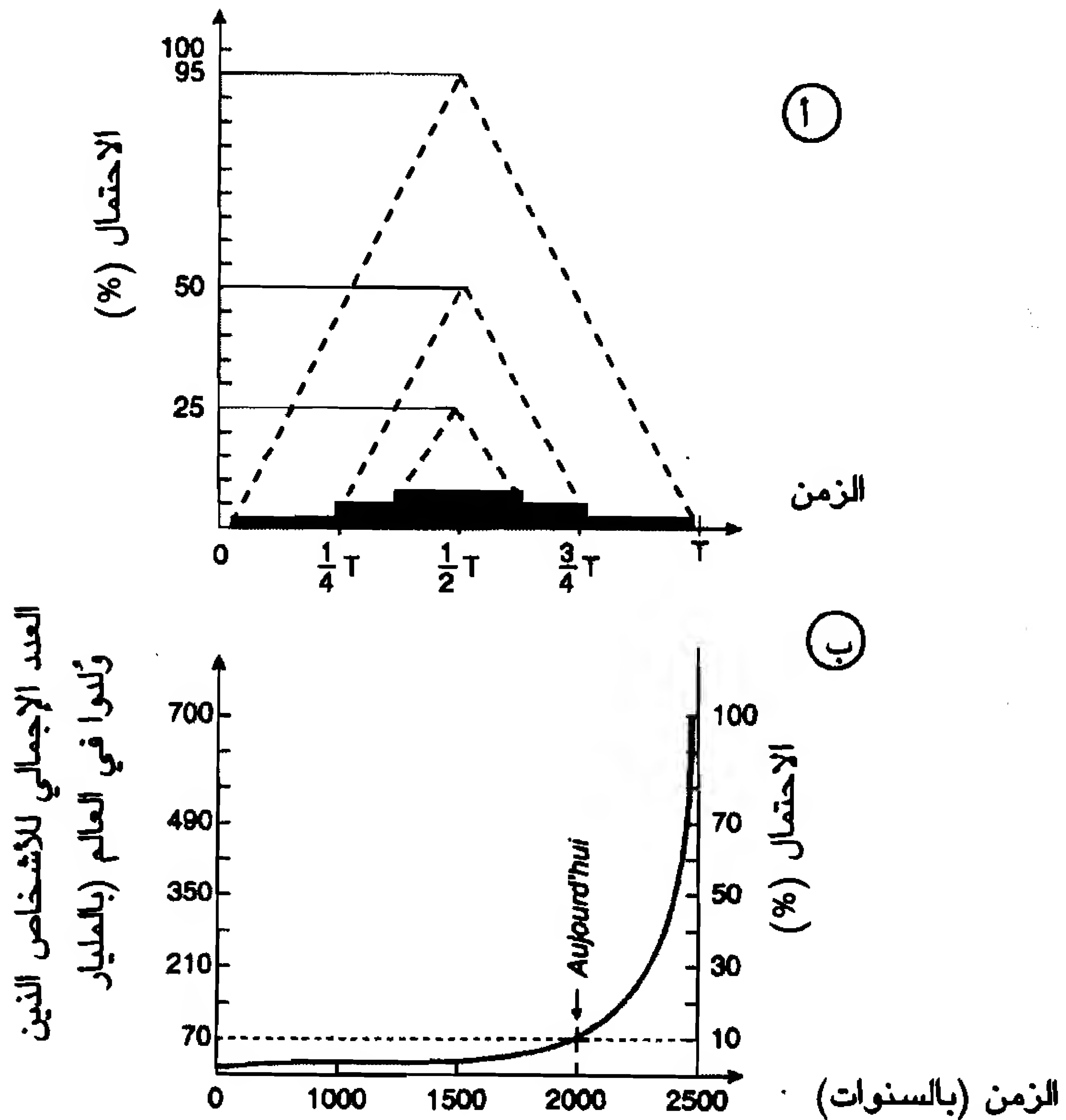
لا نستطيع اليوم إقصاء إمكانية اختفاء قادم للنوع البشري، عقب كارثةٍ من أصل كوني أو بفعل بشري. وقد رأينا في الأقسام السابقة كيف أن احتمال انفجار مُستعر قريب، أو أيضاً اصطدام كوكبنا مع نيزك ضخم، ليس معدوماً: فبحسب التقديرات الحالية، يقع هذا النوع من الظواهر مرة كل 100 مليون سنة تقريباً. وحديثاً استخدم بعض العلماء حججاً إحصائية من نوعٍ جديد (بالأحرى فضولية) للتنبؤ بعمر عِرقنا البشري.

نَجدُ في أساس هذه الحجج "مبدأ الضحالة": ليس في موقفنا، بوصفنا مُراقبين أذكياء في الكون، أيُّ شيء استثنائي. حيث ظهرت الترجمة الفضائية لهذا المبدأ، المرتبط باسم "كوبرنيكوس"، صحيحة كلَّ مرة جابهت فيها نتائج المراقبة. وهذا صحيح تماماً، فنحن نوجد على كوكب صغير حول الشمس، نجم عادي من بين عدد لا يحصى من النجوم الأُخرى في مجَرَّتنا التي، بدورها، لا تملك شيئاً استثنائياً، وسَط مئات المليارات من مجرَّات الكون الذي تمَّ رصده.

لقد طبَّق الفيزيائي الأميركي "ريتشارد غوتّ"، سنة 1993، هذا المبدأ على وضْعنا الزمني: ليس في وجودنا كمراقبين أذكياء في نهاية القرن العشرين أيُّ شيء استثنائي. قد يكون استثنائياً، بحسب غوتّ، أن نولد في هذا العالم في بداية تاريخ البشرية أو في نهايته؛ فالأكثر احتمالاً وتطابقاً مع مبدأ الضآلة إنَّما هو وضع زمني وسطي، في مكانٍ ما بين هذين الطرفين (بداية تاريخ البشرية ونهايته). قد يسمحُ هذا المفهوم الزمني لمبدأ الضآلة بأن نُحدِّد مقدار العمر المتوقَّع للنوع البشريّ T_F، مستخدمين معرفتنا بطول حياته *الماضية* T_P ماضٍ.

إن احتمال أن يولد مُراقب خلال الربع الثاني أو الثالث من تاريخ البشرية (في فترة تحتوي نصف هذا التاريخ) هو أولياً 50% (الشكل 4-3). والمُراقب الذي يولد في بداية هذا الفاصل سيكون وراءه الرُّبع

الأوّل من التاريخ (T_P) وأمامه الأرباع الثلاثة الباقية (T_F). وعلى العكس، المُراقب الذي يولد في نهاية هذا الفاصل، في نهاية الربع الثالث سيكون وراءه ثلاثة أرباع التاريخ (T_P) ، وأمامه الربع الأخير (T_F). في الحال الأولى نحصل على $T_F = 3\ T_p$ ، وفي الحال الثانية $T_F = 1/3\ T_p$. فيما يخص المُراقبَين الآخرَين للفاصل، الواقعين بين بداية الربع الثاني ونهاية الثالث من التاريخ، يكون للفترة القادمة قيمة وسطية، بين 1/3 و13 وأضعاف الفترة الماضية.



230

الشكل 3-4. إيضاح للطرائق التي استخدمها ر. غوتّ (في الأعلى) و ج. ليسلي (في الأسفل) لتقدير المدة المستقبلية لحضارتنا، في فرضية تكون مدتها الكلية T متناهية.

في الأعلى: حسب غوت، احتمالية احتلال موقع زمني بين 0 وT هو نفسه بالقياس إلى جملة نقاط الفاصل الزمني T- 0. يعطي ذلك احتمال 50% للتواجد بين $1/4T$ و$3/4T$، ولحتمال 95% للتراوح بين $1/40T$ و$39/40T$، إلخ. بما أن $T_F=T-T_P$ ماضي، نرى أنه يوجد احتمال أن يكون T_F متراوحاً بين 1/3 و3 مرات T_O، واحتمال 95% من أن يكون T_F بين 1/39 و39 مرة T ماضي، إلخ. بالطبع، الحصول على احتمال T_F بين 0 وقيمة كبيرة خارقة (لا منتاهية) هو 100% هذا الاستدلال لا يعلمنا شيئاً جديداً...

في الأسفل: على عكس غوت، يتبنى ج. ليسلي "ساعة" "تتق" بسرعة متزايدة مع مرور الزمن: سكان العالم في زيادة أُسيّة. وفي نظره، احتمال التواجد في الجزء الأول من الألف من العدد الإجمالي للبشر الذين ولدوا في العالم هو احتمال ضعيف جداً؛ وقياساً إلى أيّ فرد كان، من المحتمل أن يجد نفسه بين جمهور "المراقبين "الكبير من الذين وُلدوا خلال القرون الأخيرة التي سبقت "نهاية التاريخ". يستلزم ذلك أن يكون التاريخ المستقبلي لنوعنا محدوداً بعدّة قرون على الأكثر. المشكلة مع هذه البرهنة هو أنها، حين يُطبقها مُراقبون من الأجيال القادمة، ستُعطيهم أيضاً "مهلة" من عدة قرون، وهذا يدوم إلى الأبد...

وهكذا، بحسب غوتّ، سيسمحُ تطبيق مبدأ الضآلة على الموقف الزمني لمراقبٍ بشري، باستنتاج أن استمرار نوعنا في المستقبل يتراوح بين 1/3 و3 وأضعاف فترة الماضي باحتمال 50. وبالطريقة نفسها وجدَ غوت أنَّ هناك احتمالَ أن تنحصر فترة المستقبل بين/ومرة فترة الماضي (الشكل 3-4) إذا اعتمدنا كفترة ماضية من تاريخنا 100000 سنة (منذ ظهور الإنسان المنتصِب)، وثمّة احتمال 95% أن يكون استمراره المستقبلي متراوحاً بين 2500 و4 ملايين سنة. وهكذا يستنتج غوتّ أنَّ من المحتمل جداً أن تكون فترة مُستقبل نوعنا محدَّدة بعدّة ملايين سنة على الأكثر. وبالمناسبة، يجد العلماء البيولوجيُّون أن الجزء الأكبر من أنواع الثدييات التي عاشت على الأرض اختفى بعد 6 إلى 8 ملايين سنة. طبعاً، إذا اعتمدنا كفترة ماضية 3 ملايين سنة (منذ ظهور الإنسان الماهر *homo habilis*) يرتفع الفاصل المحتمل لمعدل طول العمر، إلى ما بين 80000 و100 ومليون سنة.

ظهرت هذه الحجج في مجلة Nature، التي نشرت أيضاً اعتراضات قرّائها

وإجابات غوتّ. ومع ثقة هذا الأخير بصحّة حجته، أجِدُ أن استنتاجاته الإحصائية مُريبة جداً. فإذا تتبعنا استنتاجاته، نجد احتمال 90% لكي يكون T_F موجوداً بين 1/100 و100 وضف T_P ونجد، ونحن نستكشف إلى حدّ أقصى، احتل 100% حتى يحصل T_F مستقبل على قيمة تتراوح بين الصفر واللانهاية! وهكذا نصل إلى نتيجة ثابتة: 1) احتمال أكبر بالحصول على تشكيلة واسعة من القيَم لاستمرار التاريخ المستقبلي، وليس على تشكيلة ضيقة. 2) أكيد أن التاريخ المستقبلي سيحصل على فترة بين الصفر واللانهاية. 3) من الواضح أنَّ هذا النوع من الاستنتاج لا يعلّمنا أيَّ شيء جديد...

يستخدم الفيلسوف الكندي "جون ليسلي" في كتابه الحديث نهاية العالم حجّةً مشابهة لهذه الحجّة، يرجع أصلها إلى الفيزيائي "براندون كارتر" من مرصد مودون. وبحسب حجة كارتر ـ ليسلي، فإن احتمال أن نكون، في نهاية القرن العشرين، بين العشرة الأوائل من العدد الكلي للمراقبين الأذكياء على الأرض، هو أكبر من احتمال من أن نكون بين أول ألف، أو أوّل مليون. ونظراً للازدياد الأُسّي لسكّان العالم، سيتوجّب ظهور الأعشار الباقية خلال القرون القادمة. وبالتالي، رجّح كارتر وليسلي احتمالاً كبيراً بأنَّ الفترة المقبلة استمرار نوعنا في المستقبل لن تتعدّى عدة قرون. هذه الفترة أقصر من تلك التي حسَبها غوتّ، لأن "ساعة" كارتر وليسلي (العدد الكلي للمُلاحظين) "تَدقّ" بسرعةٍ مُتعاظِمة (بسبب الازدياد الأُسّي لهذا العدد، انظر الشكل 3-4)؛ وبالمقابل، تَدقُّ ساعة غوتّ (الزمن العادي) دائماً بالإيقاع نفسه. ويقود تغيير "الساعة" هذا إلى فرق مهم في تعريف "الاحتمالات" المستخدم في الحالين. فمن المحتمل، في رأي كارتر ـ ليسلي، أن يتواجد مراقب بين الجمهور الكبير من المُراقبين الذين سيولدون إبّان القرون الأخيرة قبل النهاية؛ وعلى العكس، عدَّ غوتّ هذا الوضع الزمني المتطرّف قليلَ الاحتمال. وللسبب نفسه، تكون فترة T_F التي حسَبها ليسلي أقصر من تلك التي حسَبها غوتّ.

يُخصِّص ليسلي جزءاً كبيراً من كتابه لكي يدحض العديد من الحجج المُضادّة، وغالباً ما يفعل هذا بنجاح. وعلى الرغم من ذلك، إذا صحَّت حجته، فلا بُدّ من تطبيقها على مراقِبي العصور كافّة، وليس على مراقبي القرن العشرين فقط. وإذ يستخدم أحد مراقبي القرن الخامس والعشرين (الصائر إلى الموت مع الجيل البشري الأخير، بحسب تقديرات كارتر - ليسلي)، الحجج نفسها، سيستنتج أنَّ عدة قرون من الازدياد الأُسّي مازالت أمام البشريّة، لأنه سيجد أنَّ موقعه في الجزء الأخير من الألف من العدد الإجمالي للمُراقبين، ضعيف الاحتمال. كذلك سيتوصَّل مراقبو القرون والألفيات اللاحقة إلى الخلاصة نفسها، مؤخِّرين دائماً نهاية البشرية عدّة قرون أخرى. وحقيقة أنَّ هؤلاء المراقبين لم يكونوا قد وُلِدوا بعد لن يُنقِص شيئاً من قيمة الحجة المُضادّة هذه، فمن المؤكّد، فيما إذا انتهى التاريخ البشري ذات يوم، أنّه سيكون لمُراقِبي تلك الفترة وضع زمني استثنائي. ومع احتفاظنا بتطبيق مبدأ الضحالة على وضعنا الزمني، سوف نمنع مُراقبي المستقبل البعيد من أن يفيدوا منه، وهذا يُعاكِس المبدأ نفسه!

يعترف ليسلي، مع ذلك، أن حجَّته لا تملك أيّة صلاحية إذا كان للتاريخ المستقبلي ديمومة لانهائية. وفي هذه الحال، سوف يكون موضع الملاحظين كلّهم في بداية التاريخ: ستكون الفترة الماضية، المنتهية دوماً، جزءاً متناهي الصِّغر من استمرار المستقبل. وسوف نرى، في الفصل القادم، أن علمَيْ الفيزياء والكون يوفِّران حقلاً لانهائياً تقريباً لتطوُّر الذكاء المستقبلي (لكن ليس لنوعنا بالضرورة).

نهايــةُ الشمـس

من بين الكوارث الكونية، هناك واحدة تبدو محتومة؛ لكنها تقع في مستقبلٍ بعيد، على سُلَّم زمني يفوق مئات المرات كل ما صادفناه حتّى الآن، إلى حدّ أن كلمة "تهديد" تفقد كلّ معنى. ومع ذلك، يثير ذكرها دائماً شيئاً من الانفِعال لأنه يتعلق بمستقبل كوكب الحياة أو بموته، أي بالشمس نفسها.

صحيح أن الشمس، المولودة لحظةَ ولادة الأرض، قبل ما يقارب 4.5 مليارات سنة، عاشت منذئذٍ حياةً مستقرّة للغاية. وماتزال الشمس ترسل إلى كوكبنا، بانتظامٍ نموذجي، حوالي مليون تيراواط، وهي طاقةٌ تفوقُ عشرات آلاف المرات الإنتاج الكلّي لحضارتنا اليوم. ولا تمثّل هذه الطاقة الهائلة التي يصدُّها سطح الأرض إلا جزءاً بسيطاً (جزء من المليار تقريباً) من الطاقة الكلية التي تشعّها الشمس في الفضاء بين النجوم. لكن مخزون الوقود النووي الذي يوجد في أصل هذه الأشعة المدهشة ليس مَعِيناً لا ينضب. فعلى وقعِ استهلاكه الحالي، الذي يصل إلى 7 مليارات طن من الهيدروجين المُحَوَّل إلى هليوم كل ثانية، سوف يبقى مخزون الهيدروجين في مركز الشمس أيضاً حوالي 6 مليارات سنة. حينئذٍ سوف تبدأ الشمس مرحلة طويلة من الاحتضار، مرحلة ستكون نتائجها مأساوية على باقي المجموعة الشمسية. وفي الواقع، فإنّ الأرض مهددة حتى قبل هذا التاريخ بأن تصير غير صالحة للسكن بسبب الزيادة المتصاعدة للإضاءة الشمسية.

من المُهِمّ الآن أن نرى كيفَ كان تَصوُّر نهاية الشمس والأرض قبل ولادة الفيزياء الفلكية الحديثة. إذ كان مصدر طاقة الشمس وبقية النجوم، في بداية القرن، مايزال غامضاً. ولم يكُن أيُّ مصدر معروفٌ في تلك الفترة قادراً على ضمان تدفُّق الطاقة المُدهِش من كوكبنا خلال مليارات السنين القادمة. فوفق حسابات الفيزيائي الإنكليزي "لورد كلفن"، إذا كانت الشمس تسحب طاقتها من انكماشها الجذبي (على غرار مفاعلاتنا الكهرمائية)، فلن يكون في إمكانها أن تسطع إلا خلال 30 مليون سنة على الأكثر. كانت هذه المدة أقلّ بكثير من عمر الأرض، الذي قُدِّر في تلك الفترة بأكثر من 2 مليار سنة بفضلِ طرائق التأريخ الإشعاعي التي كان الفيزيائي النيوزيلندي "إرنست روثرفورد" قد توصّل توّاً إلى وضعها. وقد سمح التطور المحدود لنظرية النسبية التي وضعها "ألبرت آينشتاين" سنة 1905، باستبصار بعض الحلول، بفضل التكافؤ المُفترَض بين الكتلة والطاقة : إذ يمكن أن تتحوّل كمية قليلة من الكتلة ك إلى كمية كبيرة من

الطاقة E، بحسب المعادلة الشهيرة $E=mc^2$ حيثُ إنَّ C هي سرعة الضوء. وإذا كانت الشمس تسحب طاقتها من تغيير كتلتها بفعالية، فستتمكّن من أن تُشِعّ لمدة 10000 مليار سنة. وقد ذكر "أولاف ستابلدون" مدّة الحياة الخارقة هذه، التي تساوي مرّة العمر الحالي لكوننا، وذلك في كتابه "آخر الرجال وأوّلهم".

نحن نعلمُ اليوم أنّ مدّة حياة الشمس هي أقلّ حوالي ألف مرّة مما توقّعه ستابلدون. وفعلاً، تتحوّل كتلة الشمس إلى طاقة بفعالية تقريباً، وهي فعالية تُميِّز اندماج الهيدروجين الحراري النووي في الهليوم؛ بالإضافة إلى أنَّ هذا التغيير لا يخص إلّا العُشر المركزي من كتلة الشمس، والباقي أبرد من أن "يحترق". تتضمَّن هذه التأثيرات احتمال أن يعيش كوكبنا 11 مليار سنة "فقط".

حتى لو لم يكن متوسّط عمر الشمس معروفاً في بداية القرن، فإن "هربرت جورج ويلز" تفحصَّ احتمال موتها عام 1895، في قصته المشهورة "آلة اكتشاف الزمن"، التي سجّلت، في رأي بعضهم، بدايات الخيال العلمي. إذ يعبرُ رحّالتُه الزمني عصور المستقبل على متْنِ جهازه، المُراقِب اللافاعل لتطوُّر كوكبنا. وقبل نهاية رحلته يجد نفسه على أرضٍ تُحتضَر، حيثُ اختفى كل أثرٍ للحضارة على سطحها منذ زمنٍ طويل؛ حيث إنَّ بعض المخلوقات البدائية النادرة توصَّلت، وحدَها فقط، إلى البقاء في منظرٍ مؤسٍ، تحت البريق الشاحب لشمسٍ تموت.

"... متوقِّفاً من وقتٍ إلى آخر، كنتُ أُتابع رحلتي بخطواتٍ يبلغ اتِّساعُها آلاف السنين أو أكثر، يقودني سِرُّ قدَرِ الأرض الخفِيّ، أُراقب بافتتانٍ غريب الشمس الأوسع دوماً، والأكثر كآبةً في سماء الغرب، وأُراقب حياة الأرض العجوز في انحدارها التدريجي. وأخيراً، على مسافة أكثر من ثلاثين مليون سنة من هنا، كانت قبّة الشمس الحمراء الشاسعة قد ملأت الجزء العاشر تقريباً من السموات المظلمة..كان الظلام يتعاظم سريعاً. بدأت ريحٌ باردة تهبُّ من الشرق بعصفاتٍ باردة، ونُدَف الثلج تتكاثف. واقتربتْ من أقصى البحر موجة رقيقة ووشوشة. كان

العالم خارج هذه الأصوات التي لاحياة فيها، مليئاً بالصمت. بالصَّمت ؟ ما أصعبَ أن أُعبِّر عن هذا الصَّمت الذي كان يُثقل كاهله. ضجيج الإنسانية هذا، وثُغاء القطعان، وتغريد العصافير، وطنين الحشرات، والجيَشان الذي ينسج خلفية حيواتنا، هذا كلُّه لم يعد موجوداً. وإذ كانت الظلماتُ تزداد حلكةً، غزُرت نُتَف الثلج، واشتدَّت برودة الهواء. وفي النهاية، كانت قمَم التلال البيضاء النائية تتلاشى في الظُّلمة واحدةً إثْرَ أُخرى. تحوَّلت النسمة إلى ريحٍ تنوح. وفي لحظةٍ أخرى، كانت النجوم الشاحبة وحدها مرئيّة. وغرق الباقي كُلّه في الظلمة الشاسعة. وصارتِ السماء بأكملها سوداء حالكة ..."

يظهر أن "ويلز" كان يعرف مقياس الزمن الذي اعتمده "كلفن"، إلا أنَّ وصفه المثير للشفقة على مستقبل الأرض والشمس، النهائي، لا يتطابق إلا قليلاً مع الصورة التي تُقدّمها لنا الفيزياء الفلكية الحديثة. وفي الحقيقة، بفضل المحاكاة الرقمية على الحاسوب، يعتقد الفلكيون اليوم أنَّهم يعرفون تطوُّر النجوم بشكل جيد نسبياً، وأنّ بإمكانهم أن يرسموا بدقّة مُخطَّط تفاصيل التطور المستقبلي للشمس. وهكذا يتوقَّعون أن ضوءها يزداد ببطء، إنَّما باستمرار، بمُعدَّل تقريباً كل مليار سنة. وبعد ثلاثة مليارات سنة، سوف يزداد الضوء الشمسي تدريجياً بمعدَّل 30% تقريباً، وحينئذٍ سوف تتلقّى الأرض من الطاقة ما تتلقّاه الزهرة اليوم. وسيؤدّي التسخين المتولِّد هكذا إلى احتباس حراري غير مُراقَب، يعادل الاحتباس الذي تطوَّرَ في الماضي على كوكبنا ـ الشقيق.

بسبب الزيادة التدريجية لدرجات حرارة الكرة الأرضية، سوف تبدأ مياه المحيطات الأرضية بالتبخُّر، محمِّلةً الغلاف الجوِّي "ضباباً" يتكاثف شيئاً فشيئاً. وإذ يؤدّي البخار إلى احتباس حراري، مانعاً حرارة التربة من التسرُّب في الفضاء، فسوف ترتفع درجة حرارة الجو من جديد، ممّا سوف يُسرّع التبخُّر مرّةً أخرى... من الصعب اليوم تقدير الجريان الدقيق لهذه التأثيرات الفيزيائية كلّها؛ لأنَّ دور سُحُب البخار، التي تمتصّ حرارة التربة،

وتعكسُ ضوء الشمس في آنٍ واحد، مايزال حتى اليوم غير معروف كما ينبغي. ومن المؤكَّد، مع ذلك، أنّ محتوى المحيطات سوف يتبخَّر، عاجلاً أم آجلاً، في الجوّ، ويتموَّج فوق منظر ميت، لأن كلّ شكل من أشكال الحياة سيكون حينئذٍ قد اختفى منذ زمنٍ طويل.

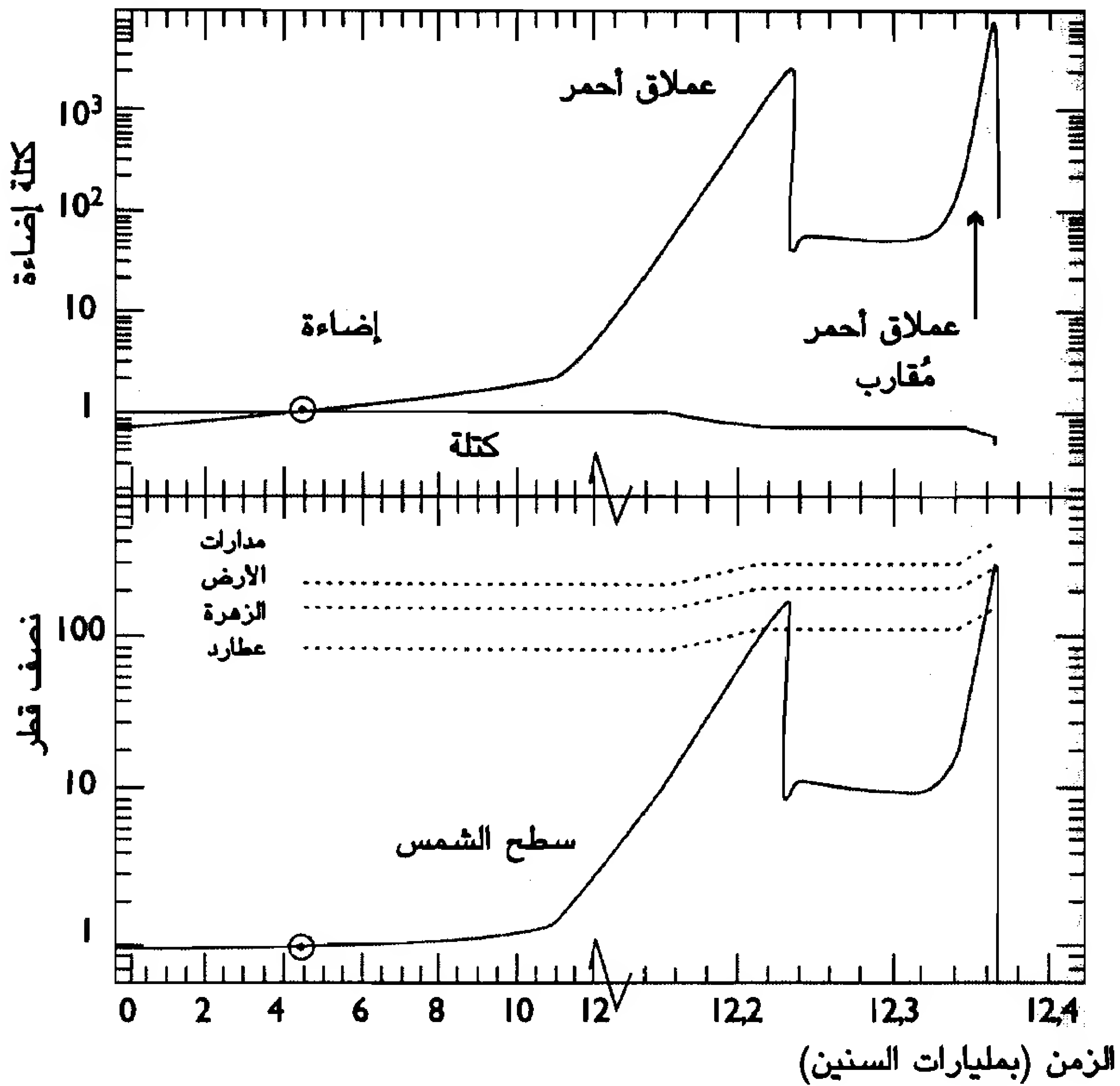
سوف يتبدّد الضباب شيئاً فشيئاً. وتحت تأثير الإشعاعات الشمسية، سوف تتفكّك جزيئات الماء مكوِّنةً الهيدروجين والأكسجين. سوف يطير الهيدروجين، الأكثر خفّةً، في الفضاء، على حين أنَّ الأكسجين، شديد التفاعل، سوف يُضرِمُ الحرائق في مملكة النبات اليابسة، أو سوف تمتصُّه الصخور. وهكذا، وبمجرَّد أن يختفي غطاء الغيوم، بعد عدّة ملايين السنين، سوف يظهر الوجه الجديد للأرض: سوف يتحوَّل الكوكب الأزرق السَّابق، مهدُ الحياة، بأكمله إلى جسمٍ صحراوي، إلى منظرٍ "قمري" عقيم عُقماً تامّاً.

ونظراً لطول أَجل الكارثة المعلنة، في وُسعنا الرجاء، بصورةٍ معقولة، أن تجِد الحضارة الأرضية لذاكَ المستقبل البعيد، الوسائل اللازمة لحماية نفسها. وقد يكون الحل السهل أن توضَع ألواحٌ ضخمة واقية في المدار حول الأرض، قطرُ كلٍّ منها عدّة آلاف كيلومتر. قد تُضبَط عتامةُ هذه "الدروع" الأرضية بطريقة لا تسمح إلا بمرور جزء من ضوء الشمس، يساوي ذلك الذي تتلقّاه حالياً، بينما تعكس الباقي أو تمتصُّه، ويمكن على الأرجح أن تُستخدم على الأرض أو في مكانٍ آخر. سيتوجّب، بطبيعة الحال، أن يتِمَّ اتّخاذ إجراءات مشابهة لحماية سكّان باقي المجموعة الشمسية، على المريخ والزهرة والقمر، الخ. فربُّما أمكن، بفضل هذه الإجراءات، الحفاظ على الظروف المناخية لهذه العوالم كلّها في مستوى مقبول، خلال ثلاثة مليارات سنة إضافية. وهكذا نصل إلى 6 مليارات سنة في المستقبل، أي إلى 10.5 مليارات سنة، منذ ولادة المجموعة الشمسية. وحينئذٍ سوف تُواجِه الحضارة مشكلة حقيقية في البقاء على قيد الحياة.

سيرةُ موتٍ معلن

سوف يُستَنفَد الهيدروجين في مركز الشمس تماماً؛ وسوف تفقد الإضاءة الشمسية أكثر من ضِعف قيمتها الحالية. سوف تبدأ طبقة رقيقة من الهيدروجين حول المركز بالاشتعال، ممّا يُسبِّب توسُّعاً في غلاف النجم. سوف يتِمّ هذا التوسع خلال 700 مليون سنة بإيقاعٍ غير ملحوظ. إنَّ تغيُّر اللون الطفيف الذي يميل إلى البرتقالي هو وحدَه الذي سوف يدُل على أنَّ النجم يتحوَّل، وسوف يُطلق إشارة الإنذار. ولكن التطوُّر سوف يتسارع تدريجياً: سينتفخ النجم بصورةٍ مُفرِطة، ويرتفع سطوعه إلى عشرة، مئة، ألف ضِعف سطوع الشمس الحالية، بينما يتحوَّل لونه إلى الأحمر، إذ لا تبلغ درجة حرارة سطحه "إلا" 3000 درجة. وسوف يتَّسِع نصف قطر النجم، في نهاية هذه الفترة تقريباً، أي خلال عشرة ملايين سنة "فقط"، من 400 مليون كيلومتر (نصف قطر المدار الحالي لعطارد) إلى 150 مليون كيلومتر تقريباً (نصف قطر المدار الحالي للأرض).

من المؤكَّد أنَّ العملاق الأحمر سوفَ يبتَلِعُ كوكبَ عطارد. ويظلُّ مصير الزهرة غير واضح، بينما تكون الأرض محميّة بصورة أكيدة، نتيجة تغيُّرٍ طارئ لمدارها نحو الخارج، من دون أيّ تدخُّل بشري. وفعلاً، خلال هذه الفترة من التوسُّع، سوف تُقذف الطبقات الخارجية العُليا للشمس، التي يدفعها الضغط الداخلي، في الفضاء بسرعات تبلغ عدّة مئات الكيلومترات في الثانية. وسوف يُسهِّل إفلاتَها هذا أنَّها توجد بعيداً عن المركز، حيثُ يقبع لُبُّ كتلة الشمس، ولن تتأثَّر إلا قليلاً بشدّه الجذبي. وبِسبب هذا النَّزيف الذي يُفقدِ الشمس كتلةً تساوي كتلة أرض الألفيَّات كلّها، سوف تُستأصَل نسبة من كتلتها في نهاية هذه الفترة. إذاً سوف تنقُص قوة شدِّها الجذبي المتناسبة مع كتلتها، بالمقدار نفسه. وحينئذٍ سوف تهاجر أجرام المجموعة الشمسية المختلفة، ببطءٍ إلى الخارج، نتيجة ضعف جاذبية الشمس. وهكذا، ستجد الزهرة نفسها في مستوى مدار الأرض الحالي، وتتخلَّص على الأرجح من خطر أن يلتهمها العملاق الأحمر المتوسِّع.



الشكل 3-5. التطور القادم للشمس (في الأعلى) والنتائج بالقياس إلى مدارات كواكب عطارد، والزهرة، والأرض (في الأسفل).

في الأعلى: تطور كتلة الشمس (معبّراً عنه بوحدات من كتلتها الحالية ...$M=2x10^{27}$ طنّ) وسطوعها (مُعبّراً عنها بوحدات من سطوعها الحالي $L= 4x10^{26}$ واط). بعد نهاية احتراق الهيدروجين في قلبها (خلال 100 مليارات سنة تقريباً)، سوف تصبح الشمس عملاقة حمراء، وترتفع سطوعها بعامل 1000. بعد ذلك بوقتٍ قصير، سوف تبدأ بإحراق الهليوم في قلبها، ويضعُف سطوعها (إلى أقلّ عشرات المرات من قيمته الحالية). سوف تعود الشمس، باستنفاد الهليوم، إلى الانتفاخ لتصبح عملاقاً أحمر "مقارِباً"؛ وخلال هذه الفترة القصيرة، سوف تكون أيضاً أكثر سطوعاً من السابق. لكن، خلال هاتين المرحلتين، سوف يفقد العملاق جزءاً مهماً من كتلته (النصف تقريباً) بواسطة الريح النجمية؛ وهذا سوف يُضعِف شدَّها الجنبي لأجرام المجموعة الشمسية.

في الأسفل: تطوُّر نصف قطر الشمس (معبراً عنه بوحدات من قيمته الحالية R=700000 كيلومتر) وأنصاف أقطار مدارات عطارد، والزهرة، والأرض (بالوحدات نفسها). عند توسُّعها إلى عملاق أحمر، وبسبب نقص وزنها، سوف ينخفض الشدّ الجذبي للشمس بنسبة 40% تقريباً؛ لذا سوف تهاجر الكواكب، الأقل انجذاباً، إلى الخارج بالتدريج. سوف تلتهم الشمسُ كوكبَ عطارد، لكنَّ الزهرة، والأرض سوف تنجيان منها.

لكنها لن تكون بعد ذلك إلا مجرد كوكب في حالة غليان، بحرارة قريبة من 3000 درجة، مداعبةً سطح العملاق الأحمر الذي سيحتلُّ سماءها كلَّها تقريباً. أمّا الأرض فسوف توجد حينئذٍ على مسافة 60 مليون كيلومتر فقط خارج مدار الزهرة. إذا كان مراقبٌ قادراً على الوقوف في أُتونِ سطحها، الذي سوف تقارب حرارته 2000، درجة، فقد يرى منظراً يليق بجحيم دانتي، مع القرص المتوحّش الأحمر الذي يحتلُّ أكثر من ثلاثة أرباع السماء.

لن يكونَ توسُّع الشمس من دون تأثيراتٍ في المجموعة الشمسية الخارجية، مع أنَّ الكواكب العملاقة لن تتأثّر بشكل فعلي. فعلى نحو ما رأينا في الفصل الأوَّل، تحتوي ثلاثة من أقمار المشتري، وهي أوروبا وكاليستو وغانيميد، على كميات ضخمة من الماء تحت قشرتها الجليدية. كذلك يُشَكُّ حالياً بوجود الجليد والماء في تيتان، أكبر أقمار زُحَل، تحت غلافه الجوِّي المتكوِّن من الميثان والنتروجين. وهكذا سوف يجعل توسُّع الشمس كميات ضخمة من الماء السائل متوفِّرة خلال مئات ملايين السنين. لكن في نهاية هذه الفترة، سوف تتبخر كمية كبيرة من هذا المخزون وتتبدَّد في الفضاء. والمصيرُ نفسه ينتظرُ ماء الأقمار الأصغر، وحلقات الكواكب العملاقة. وعلى الرغم من ذلك، لن يتأثّر الخزان الشاسع من مياه مذنَّبات حزام كويبر وسحابة أُورت.

سوف يصبح كاملُ المجموعة الشمسية غيرَ صالح للسكن بعد حوالي 7500,000,000 سنة من عصرنا. وبالفعل، فإنَّ الإضاءة، حتى على مستوى مدار بلوتو، الأبعد، مع ذلك أربعين مرة عن الشمس أكثر من الأرض، سوف تفوق عدة

أضعاف المعيار الحالي. لكن، قبل أن نعكفَ على مصير الحضارة في هذه الحقبة البعيدة جداً، لنتَتبّع المراحل الأخيرة لاحتضار كوكبنا.

بعد فترة التوسُّع الطويلة التي كانت تُهدّد بالتهام كل شيء في طريقها، سوف تعود الشمس "حكيمة"، على الأقل بصورة مؤقّتة. فالهليوم، "رماد" اشتعال الهيدروجين، سوف يشرع، بدوره، في الاحتراق في قلبها، حين تبلغ درجة الحرارة المركزية مئة مليون درجة. وسوف يطفئ إشعال الهليوم الطبقات الخارجية للهيدروجين، الذي كان احتراقه قد سبَّب التوسع الهائل للغلاف. ومثلما ينحسر المدُّ بعد صعوده، سوف يباشر غلاف الكوكب حينئذٍ بالتقلُّص، والابتعاد عن جسم الزهرة المتفحِّم، لكي يستقر على نصف قطر طوله 7 ملايين كيلومتر "فقط"، أي ما يُساوي عشرة أضعاف نصف قطره الحالي. للأسف، لن تنبعث جثّة عطارد، لأن الكوكب سيكون قد تبخَّر منذ زمنٍ طويل داخل الأَتون الشاسع.

سوف تحتفظ الشمس، نصف ـ العملاقة، نصف ـ الحمراء، بهذا المستوى لمدة 100 مليون سنة أيضاً، وتبرُق لسطوع يفوق قيمة سطوعها الحالي بأربعين مرّة. لكنَّ مخزونات الهليوم سوف تنفد بأسرع من نفاد مخزونات الهيدروجين، وتصل هذه الفترة من الانقطاع إلى نهايتها. سوف تدخل الشمس حينئذٍ في الطور الأخير من تطوُّرها: طور الاشتعال في طبقة مزدوجة، اشتعال الهليوم على محيط المركز، والهيدروجين في الخارج الأبعد قليلاً. وسوف يكون هذا الطَور من حياتها الطويلة هو الأقلّ استقراراً. حيث سيُعاود غلافُها، الذي تدفعه تشنُّجات الكوكب المُحتضَر، غزْو أُفقِ كواكب المجموعة الشمسية. وعليه، سوف يُطرَد الجزء الأكبر من غلاف الكوكب في الفضاء خلال هذه الفترة القصيرة نسبياً، التي لن تستمرّ إلا نصف مليون سنة. حينئذٍ، ولأوّل مرّة، سوف يُكتشَف قلب الشمس، إنّه كرة متوهِّجة، لكنَّها صغيرة جداً، لا يتعدّى حجمُها حجمَ أرضنا. وسوف تُشعّ الشمس، مع حرارة سطح مقدارها 100000 درجة، على الأخصّ

إشعاعاً فوق بنفسجي، مرسِلةً خلال عشرات ملايين السنين قبلة الإشعاع القاتل الأخيرة، إلى الكواكب التي كانت قديماً تمنحها الحياة.

هكذا سوف تموت الشمس. ولن تستطيع، مع نصف كتلتها الأساسية تقريباً، إطلاق شرارة التفاعلات النووية لاحتراق الفحم في داخلها. وشيئاً فشيئاً سوف تبرد جثّتها، الحارَة جداً في الأصل، وتتحوَّل إلى قزمة بيضاء، إلى نجمٍ ميت إلى الأبد.

الانتقال من البيت ـ الأرض

نهاية الشمس محتومة، حتى لو لم تحدث إلا في مستقبل بعيد للغاية. هل سيكون في إمكان أحفادنا في تلك الفترة إبقاءها على قيد الحياة؟ وبأية وسائل؟

ردُّ الفعل الأوّل، أو على الأصحّ الارتكاس الفطري عند أيّ نوع حيواني، هو الهروب أمام الخطر. فمن الممكن تَوقُّع إجلاء سكان كلّ العوالم المأهولة في تلك الفترة (الأرض والقَمرْ والمريخ وربما الزهرة والمستوطنات الاصطناعية) إلى خارج المجموعة الشمسية. سيكون الحل الأوضح أن يتِمَّ إيواء مجموع سكان هذه المجموعة في بيوتٍ اصطناعية، في مستوطنات ضخمة تطوفُ ما وراء مدار بلوتو. يمكن للكويكبات، من حيث المبدأ، توفير المواد اللازمة لأبنيةٍ تؤوي عشرات المليارات من الأفراد. ومع ذلك، ليس من المؤكّد أن توجد في تلك الفترة، لأنها ستكون قد استخدِمت منذ زمنٍ طويل لبناءاتٍ أخرى. وسينبغي حينئذٍ التفكير بتفكيك الأقمار الصغرى، أو بتفكيك كوكبٍ صغير مثل عطارد، الهالك، في كلّ الأحوال، على المدى البعيد. بالطبع، قد تغدو المهمة سهلةً للغاية في حال وجود كرة "دايسون" وقد سبق تنفيذها، وتمَّ تكوينها من عدد لا يحصى من الكواكب الاصطناعية، التي لا بُدّ أن تُهاجر ببطء، هي أيضاً، إلى خارج المجموعة الشمسية، مستخدمةً طاقة الشمس قيدَ التوسّع.

قد يُنقذ هذا الحلّ الحضارة نفسها بشكلٍ مؤقّت، لكنه لا يُنقذ مهدها، أي الأرض، التي سيغدو سطحها الذي فحّمه العملاق الأحمر، غير صالحٍ للسكن. ولهذا السبب، فكّر بعض المؤلّفين في حلٍّ يتمثّل بنقل الأرض كلها، ووضعها في مأمن من غضب الشمس. الدوافع العاطفية لهذا الحل واضحة، ولكنَّ من المثير للاهتمام أن نرى كيفَ سيكون في إمكان حضارةٍ مُتفوِّقة أن تواجهه لكي تطبِّق عبارة "أرخميدس" المشهورة: "*أعطِني مكاناً أستطيع الوقوف فيه، وسأنقُلْ الأرض من مكانها.*" بالتأكيد، *كان الرياضي والمهندس الكبير في العصور القديمة يريد إبراز القوى الكامنة لتقنية العتلات، لكنّ من المعروف أنّ هذه التقنيات لا يُمكن تطبيقها في حال جسم سماوي. وليس ثمّة لنقلِ أيِّ شيء من مكانه، في الفضاء الخالي، إلا التقنيات القائمة على مبدأ "الفعل ورد فعل".*

من السهل تقدير كمية الطاقة اللازمة لإخراج الأرض من الشدّ الجذبي للشمس، ودفعها خارج المجموعة الشمسية: فهي تساوي تلك التي تُشِعُّها الشمس خلال سنة كاملة، وتبدو أقل كثيراً من الطاقة اللازمة لتفكيك المشتري. ومع ذلك، المشكلة حسَّاسة أكثر من ذلك؛ لأنَّ الأمر يتعلّق بنقل كوكب مسكون مع محيطه الحيوي، لا بنقل كوكبٍ ميت. بالإضافة إلى أنَّ هذا الكوكب يدورُ حول نفسه مرةً كلَّ ساعة، وهذا إيقاع يجب ألا يضطرب أثناء النقل، لكي يُتجنَّب، قدر المُستطاع، أيُّ اختلال مُناخي، أو بيئي كبير.

إذاً سوف يتوجَّب العمل على مَهل، لكنَّ هذا لن يثيرَ مشكلاتٍ جِدّية، لأن انتفاخ الشمس وتحوّلها إلى عملاق أحمر سوف يدوم مليون سنة، تاركاً ما يكفي من الزمن للمناورة. سوف تتمكّن السفينة ـ الأرض من الهجرة ببطء إلى خارج المجموعة الشمسية على مسار حلزوني. ستُكمِل، بطبيعة الحال، دورانها حولَ الشمس خلال الرحلة، إلّا أنّ "السنين" سوف تصبح أكثر طولاً مع مرور الزمن. وحين يتقاطع مسارها مع مسار المشتري، ستصير السنة الأرضية بطول عشر سنوات حالية؛ وفي نهاية الرحلة، فيما وراء مدار بلوتو قليلاً، سوف تساوي ثلاثة قرون أرضية

تقريباً. سيتوجّب، بالتأكيد، الحرص على تجنُّب أيٍّ اصطدام مع أجسام المجموعة الشمسية الأخرى، حينما يتقاطع مسار السفينة ـ الأرض مع مسارها، والحرص، بصورةٍ خاصّة، على تنظيف منطقة الكويكبات مع محيطها كلّه تنظيفاً جيّداً.

فيما يتّصل بوسائل دفع هذه السفينة الهائلة، فأكثرها ضخامةً، التي لم يُفكِّر فيها أبداً (مع أننا، في الواقع، رُكّابها منذ ملايين السنين!)، هي الرسم البياني الذي رسمه "م. توب"، المهندس في معهد العلوم التطبيقية في زوريخ، آخذاً بعين الاعتبار ضرورة الحفاظ على دوران الأرض حول محورها.

ستُنصب مجموعة من 24 بطارية صواريخ حول خط الاستواء، كل بطارية تبعد عن جارتها 1600 كيلومتر تقريباً. هناك فُرَص قوية حتى توجد معظم هذه البطاريات في وسط المحيط تماماً، على الرغم من صعوبة أن نتوقّع حالياً ما سوف تكونه مواقع القارّات التي تشترك في حركة ألواح القشرة الأرضية، بعد 6 مليارات سنة. ستتألّف كل بطارية من مئة صاروخ تبرز فوّهات عوادِمها بين الغيوم، على ارتفاع ثلاثين كيلومتراً، لتفادي اضطراب الغلاف الجوي نتيجة الغازات المطرودة (كما رأينا في الفصل الأوّل، وهذا قريب من الارتفاع الأقصى لبناء على سطح الأرض). ستُطلق كلّ بطارية النار لمدّة ساعة كل يوم، حوالي 11:30 الساعة بالتوقيت المحلي، حيث تقذِف دفعتَها في الاتِّجاه المعاكس لاتجاه الشمس. وستُستَخدم الاستطاعة التي يُقدّمها كل صاروخٍ من هذه الصواريخ العملاقة، والتي تعادل قنبلة من وزن ميغاطن كل ثانية، لتسخين 100 طن من الهيدروجين في الثانية، وطردها في الفضاء بسرعة 300 كيلومتر في الثانية تقريباً. التسريع المُحصَّل بهذه الطريقة بسيط، وربما لا يشعر به فعلاً سكان السفينة ـ الأرض الذي قد يصل، بعد عشرات الآلاف من السنين، إلى ما وراء مدار بلوتو. أما الكمية الإجمالية من الهيدروجين التي تتطلبها الرحلة فكميّة كبيرة جدّاً، تعادل عُشر كتلة الأرض تقريباً، وسيتوجّب اقتراضُها من المشتري أو من كوكب آخر من الكواكب العملاقة.

الرسم البياني المعروض هو الأكثر إعداداً (على حدٍّ علمي) من بين الرسوم التي تمَّ اقتراحها لنقل الأرض، ولا تبدو قابلية تحقيقه بعيدة عن منال حضارةٍ تكنولوجية متفوِّقة. ومع ذلك، لمَّا كان الأمر مُتَّصِلاً بكوكبٍ حي، لا بكوكبٍ ميت، فمن الصعب جداً تقدير النتائج على مستوى الغلاف الحيويّ. فلنحتفِظ، رغم هذا، بصورة حضارة المستقبل التي لا تحاول إنقاذ وجودها نفسه وحسب، بل إنقاذ مهدِها المُهدّد أيضاً...

سيرةُ شبابٍ مُطوَّل

لن يهلك القسم الأفضل من البشريّة؛ لأنّه كلَّما انطفأ نجمٌ، هاجر إلى نجمٍ آخر، وهكذا، لن تعرِفَ الحياة نهايةً، وسوف يكون ارتقاءُ البشريةَ مستمرّاً.

قسطنطين تسيولكوفسكي
أحلام الأرض والسماء

رأينا حتى الآن موقفين مختلفين من الخطر القاتل الذي يُمثِّله التوسُّع المستقبلي للشمس لتصبح عملاقاً أحمر: "الهرب" السريع على قوارب خفيفة أو انتقال "السفينة" ـ الأرض ببطء بعيداً عن الخطر. وعلى الرغم من ذلك، يمكن تبنّي موقف ثالث من حضارة المستقبل البعيد، إذا نجحت في الوصول إلى مستوى " حضارة من النموذج II".

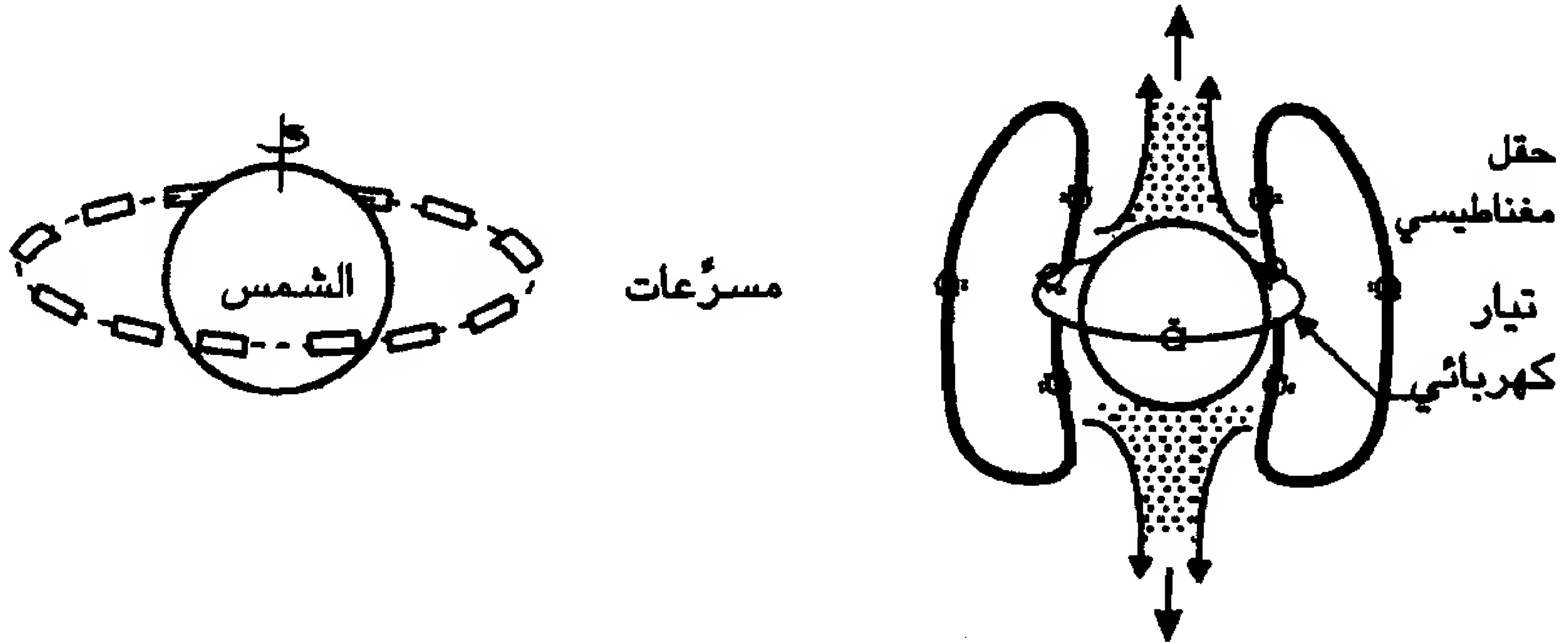
إنَّ "حضارةً من النموذج I"، بحسب هذا التصنيف، الذي يُعزى إلى الفلكي السوفييتي "نيكولاي كارداشيف"، قادرة على إدارة مجموع موارد الطاقة، والمواد الموجودة في كوكبٍ ما؛ وحضارتنا اليوم ليست بالبعيدة عن هذا المستوى (الشكل 3-1.) مع أنَّ السيطرة على الموقف غير كافية... وحضارة من النموذج II قادرة على إدارة ثروات مجموعتها النجمية، الطاقيّة والمادية، وخصوصاً، طاقة نجمها نفسه. سيكون بنّاؤو كرة "دايسون" قد بلغوا بسهولة

هذا المستوى. أمّا النموذج III، فهو ينطبق على إدارة كميات من الطاقة والمواد على مستوى المجرّة كلّها.

بإمكان حضارة من النموذج II، مبدئياً، أن "تُدجِّن" مصدرها الأساسي للطاقة وتستعمله عند الطلب بطريقة فعّالة أكثر من تلك التي كان يتوقعها "دايسون". أليس في مُستطاعها أن تذهب حتى تمديد حياة نجمها؟

مهما بدت هذه الفكرة خياليّة، فقد سبق أن رأت النور. إذ إنَّ "هبويرت ريفز"، الذي يقلق على أحفادِ أحفادِ أحفاده، يقترح حلاً في كتابه "صبرٌ في السماء". فكما رأينا، سوف تبدأ نهاية كوكبنا عندما ينفد وقودُه النووي، أي الهيدروجين، من قلبه. ومع ذلك، سوف تبقى فيه كميات كبيرة، لأن الشمس لن تحرق حينئذٍ إلا نسبة 10% من وقودها تقريباً. ومن جهةٍ أخرى، فإن الاشتعال المحيطي للهيدروجين هو بالتحديد المسؤول عن انتفاخها إلى عملاق أحمر. وبغية إعادة الحياة إلى قلب الشمس المعطوب، يمكننا إذاً التفكير بأن نحقُن من الخارج، موادَّ طريَّةً قابلة للاستعال باتِّجاه المركز. ولا بُدّ، من أجل الوصول إلى ذلك، من "تحريك" داخل الشمس، مثلما نحرِّك فنجان قهوتنا لنمزج فيه الحليب أو السُّكر.

يقترح "هـ. ريفز" للحصول على هذا المفعول أن يتِمّ حقن الطاقة في داخل الشمس ويسخِّنها، كي يُحرِّض فيها حركات الحمل الحراري. ونحن نعلم، من ناحية أخرى، أن هذا النوع من حركات الحمل الحراري حصل داخل كواكبَ أضخم قليلاً من الشمس، وأكثر حرارة. يمكن حقن الطاقة بمساعدة ليزر عالي الاستطاعة يخترق شعاعه حتى الطبقات الداخلية لنجمنا. وقد نتوصَّل بهذه الطريقة إلى أن نحرق أيضاً 10 أو 20% من كتلة الشمس وإلى أن نُطيل حياتها بعاملَين أو ثلاثة عوامل، حتى 20 أو 30 مليار سنة.



الشكل 3-6. إيضاح آلية تخفيف الشمس، التي اقترحها المهندس الأميركي د. كريزوِل. *إلى اليسار*: حزام مُسرِّعات جسيمات، قوية تُغذِّيها الطاقة الشمسية، تمَّ وضعُه في المدار حول كوكبنا العجوز. *إلى اليمين*: التيار الكهربائي الذي ولَّدته الجسيمات المشحونة التي تدور حول الشمس يُحرِّض مجالاً مغناطيسياً يؤثِّر بقوة في جسيمات السطح الشمسي؛ حيث تنتزع قوة المجال المغناطيسي هذه الجسيمات وتُركِّزها، وتقودها إلى مكان التخزين.

تأتي المشكلة الأولى في هذا السيناريو من الصعوبة الواضحة من حقن الطاقة داخل الشمس من دون تسخين الطبقات السطحية أوّلاً، ممّا سيُوسِّعها ويؤدّي إلى ولادة نجم عملاق قبل موعده. لكنّ هناك أيضاً صعوبةً من نوع كمّي. فلكي يتمّ تسخين عُشر وزن الشمس فقط بحرارة ملايين درجة (درجة حرارة المناطق الوسطى لكوكبنا)، ينبغي استهلاك طاقةٍ هائلة، تعادل تلك التي تُشعّها الشمس خلال عدة ملايين السنين. وإذ إنَّ حقن الطاقة ينبغي أن يكون مختصراً، تحت طائلة عدم الحصول على النتيجة المرتقبة، فمن البديهي أننا سنحتاجُ إلى مصدر طاقة غزير غير الشمس نفسها (لِكون تدفُّقها من الطاقة بطيئاً جداً). قد يكون الاندماج الانفجاري لجزءٍ من كتلة المشتري كافياً، لكنَّ نتائج انفجارٍ كهذا ستكون مأساوية على باقي المجموعة الشمسية.

اقترح المهندس الفلكي "داف كريزوِل"، المهندس السابق في وكالة الفضاء الأمريكية، والباحث في الصناعة الفضائية الأمريكية، فكرةً هندسية فلكيّةً أخرى. يقترح "كريزوِل"، لإطالة عمر الشمس، تخفيفَ وزن طبقاتها الخارجية، والاستفادة من خاصيَّة تتقاسمها الكواكب مع البشر: كائنات أكثر خِفَّةً وتُعمِّر

كثيراً. لن يكون لهذا "القانون" في حال النوع البشري إلا فائدة إحصائية ومحدودة، حيثُ يمنحُ معدَّلاً ممدَّداً لمتوسِّط العمر من عدّة أجزاء من المئة فقط. وبالمقابل، الفكرة صائبة قياساً إلى جملة النجوم التي تبدو الفروق بين متوسِّط أعمارها المرتهنة بالكتلة مُدهشة إلى حدٍّ مَا. إذ يعيش نجم كتلته أقل مرّتين من كتلة الشمس 100، مليار سنة، أي عشرة أضعاف كوكبنا، لأنَّ احتراق وقوده أبطأ عشر مرّات، وإشعاعه أقلّ عشر مرّات.

إنّ "كريزوِل"، في استكشافاته، جريء نسبياً، جُرأةَ "دايسون" تقريباً. فلن يكون ممكناً توفير الكميات الهائلة من الطاقة اللازمة لمشروعه إلا من النجم نفسه. ومن ثَمَّ سيتوجَّب البدء بوضع مجموعة من الألواح الشمسية حول الشمس، قادرة على اعتراض جزء كبير من الطاقة التي يُشِعّها كوكبنا؛ وسيتِمُّ استخراج موادّ بنائها إمّا من كوكب عطارد، القريب جداً، وإمّا من الكويكبات.

ستتكوّن المرحلة الثانية من تغليف الشمس بمجال مغناطيسي، يجبر جسيمات القلنسوتين القطبيّتين للشمس من التسرُّب إلى الفضاء. ويمكن تنفيذ هذا الشكل ببناء مُسرِّع جسيمات هائل، في المدار حول خط الاستواء الشمسي، وهذا يعني في الواقع بناء حزام من المُسرِّعات يبعد واحدُها عن الآخر عشرات آلاف الكيلومترات (شكل 3-6). ستدورُ حزمة كثيفة من الجسيمات المشحونة، التي تُسرِّعها هذه الأجهزة، حول النجم، وتخلق مجالاً مغناطيسياً قوياً يمتلك الشكل المناسِب.

لن تكون كثافة المجال المغناطيسي المحصَّلة بهذه الطريقة كافيةً لانتزاع جسيمات السطح الشمسي من الشدّ الجذبي للنجم. إذاً ستعتمدُ المرحلة الثالثة على "تسخين" القليل من القلنسوتين القطبيتين للشمس إلى عدة ملايين الدرجات بمساعدة أشعة الليزر التي تزوّدها بالطاقة الألواح التي تمَّ وضعها مُسبقاً في المدار. سينزع الغاز المُسخَّن إلى التلاشي في الفضاء، لكنَّ تركيز الحقل المغناطسي له سيؤدّي إلى استرجاعه، واستخدامه لاحقاً. ويجدُ "كريزوِل" أننا،

إذ نُسخِّر لهذه المهمة عُشر الطاقة التي تُشعّها الشمس فقط، سيُمكننا بهذه التقنية، أن نستخرج منه، كل سنة، كمية من الهيدروجين تعادل كتلة الأرض.

ومع تقدُّم الاستخراج، ستبدأ آثاره بالظهور. ستصبح إضاءة النجم "المُخفَّفة" أضعف، ولونه شاحباً قليلاً. وستلزم مئات الملايين من السنين لاقتطاع نصف كتلة الشمس، والحصول هكذا على نجم سيطول عمره إلى مئة مليار سنة، أي عشرة أضعاف عمر كوكبنا الحالي. سيكون هذا النجم القزم، بالتأكيد، عشر مرّات أقل سطوعاً من الشمس الحالية، لكننا سلّمنا بأنّ القلق الأساسي لهذه الحضارة المستقبليّة سيكون متوسِّط عمرها، وليس زيادة استهلاك الطاقة (وسيكون قلقاً بيئياً إلى حدٍّ مّا!). وعندما يصل هذا النجم "المنبعث" إلى نهاية حياته الجديدة، ستتمكّن العملية نفسها من تخفيض كتلته من جديد إلى النصف، للحصول بذلك على إطالة جديدة بعامل عشرة. وسيتوجّب في كل مرة، بالتأكيد، تقريب الأرض قليلاً من النجم المبتور حيث يتلقّى دائماً كمية الضوء نفسها، لكنَّ هذا لا بُدَّ أن يكون أكثر سهولةً من تخفيف النجم.

تقديرات "كريزوِل" هذه مغاليةٌ قليلاً. ذلك أنَّ متوسِّط عمر النجم لا يعتمد على كتلته وحسب، بل على حالة قلبه أيضاً. لقد سبق أن حوّلت الشمس نصفَ هيدروجين مناطقها المركزية إلى هليوم. وسيبدأ نصف - شمس "كريزوِل" حياته مباشرةً من عُنْفوان الشَّباب، وليس من المهد؛ ولن يكون متوسِّط عمرها "إلا" 50 مليار سنة على الأكثر (في الواقع أقل كثيراً، بناءً على عوامل ذات طابع تقني أكثر قليلاً). لكن هذا الرسم البياني يُمثِّل مشكلة أخرى. إذ يعتقد علماء الفيزياء الفلكيّة اليوم أنَّ النجم، كلما كان صغيراً وضعيف الإضاءة، كانت منطقته الصالحة للسكن قريبةً منه (المنطقة المحيطة بالنجم حيث تسمح درجة الحرارة بوجود الماء السائل على سطح الكوكب). والحال أنّه كلما كان كوكبٌ ما قريباً من نجمته، تعاظمت قوى المدّ التي يخضع لها، حيث تُبطِّئ دورانه حول محوره. وينتهي الكوكب بالدوران حول محوره ببطء دورانِه حول نجمه، مُقدِّماً له

دائماً نصف الكرة نفسه (على غرار القمر حول الأرض، انظر الشكل 1-1). لكنَّ الفرق الحراري بين نصفي الكُرَة يخلق إشكالَ صلاحية السكن في الكوكب. وقد ثبت، في الواقع، أن النجوم التي تقلّ كتلتها عن نسبة 70% من كتلة الشمس، لا تملك حولها مناطق صالحة للسكن بشكلٍ دائم. يبدو إذاً أن تخفيف الشمس لن يتمكّن من أن يمنحنا أكثر من 10% أو 20 مليار سنة إضافية.

تبدو مشاريع ترويض الشمس، في الوقت الحاضر، وهميةً تماماً، وبعيدةً كل البعد عن منال حضارتنا الحالية أو عن احتياجاتها. تُرى ! هل تُنفّذ ذات يوم؟ لا أحد يستطيع الإجابة على هذا السؤال. في بعض الأحيان، أُفكّر بأبطال مؤلَّف "جان روزني" الأوَّل "حرب النار"، الذي كان أحد كُتبي المفضّلة في شبابي. كان أجدادنا القدماء، قبل آلاف القرون، يعتمدون اعتماداً كلياً على الطبيعة للحصول على هذه الهِبَة الثمينة، النار، الحامية المثالية من الظلمات، والبرد، والحيوانات. كان عليهم أن يكتفوا بقطاف هذه المادة السحرية هناكَ، حيثُ تُقدِّمها الطبيعة، عند أقدام البراكين، في غابةٍ قصفتها صاعقة، أو أيضاً إبّان حريق في السُّهب. كان صعباً عليهم أن يحتفظوا بها، ويبدو أنهم لم يكونوا قادرين على إضرامها من جديد حين تنطفئ. فهل كانوا قادرين، في تلك العصور المظلمة، على أن يتخيَّلوا يوماً ما أنَّ أحفادهم سيتحكّمون بهذه النار السحرية؟ وإذا كان بعضهم يحلم بذلك، فهل كان مُعاصروهم يعُدّون قفزة خيالهم هذه، وطفرة تصوُّرهم، أقلّ جنوناً من المشاريع الحالية لتدجين النار الشمسية؟ لن نحصل أبداً على الجواب الواضح. لكن، إذا استغرق النوع البشري، منذ ظهور أوائل أجناس الإنسان، عشرات الآلاف من القرون قبل أن يسيطر على النار، فهل من المعقول أن يتوصَّل، في غضون عشرات الملايين من القرون الإضافية، إلى ترويض النار الشمسية؟ لا أعتقد ذلك.

4. مستقبل نهائي

كلّ من يأتي إلى العالم يجب أن يهلك

غوته، *فاوست*

"و، من دون أن نرفع أياديَ تتضرّع عبثاً إلى سمــاءٍ خاليـة،
سوف نُكمِـل، عبْر قوىً لامُبالية،
صــوبَ مستقبـلٍ قد يُضــارِعُ أعظمَ أحلامنـــا،
مسيرةً لم يظهر أيُّ شــيءٍ بعْدُ يوجِب إيقافهـا".

جان بيران

تفحَّصنا، في الفصول السابقة، مستقبل النوع البشري الممكن ضمن الإطار المحلي لمجموعتنا الشمسية. واستنتجنا أن هذا المستقبل محدود في الزمن، حتى إذا تمكن التاريخ المحدَّد، مبدئياً، أن يُطوَّل إلى ما بعد عدة مليارات سنة. كذلك تفحَّصنا توسُّع حضارتنا الممكن في المجرَّة، من دون أن نهتمَّ، مع ذلك، بمستقبل هذا التوسُّع على المدى الطويل.

سوف ندفعُ بحثنا، في هذا الفصل، إلى نهاياته، مُقلِعين في رحلةٍ إلى أقاصي المستقبل، ممّا سوف يقودنا ليس إلى تفحُّص مَجَرَّتنا وحسب، بل إلى تفحُّص الكون بأكمله أيضاً. سوف يتوجَّب، بطبيعة الحال، افتراض أنَّ "وسائل نقلنا" ملائمة لهذا النوع من الرحلات؛ وبعبارات أخرى، سيتوجَّب افتراض أنَّ القوانين الأساسية التي تحكم تطوُّر الكون معروفةً بما فيه الكفاية، وأنها لا تتغير مع مرور الزمن. هذه الفرضية بعيدة عن أن تكون واضحة. وقد كانت النظريتان

اللتان أسَّستا الفيزياء الحديثة، والميكانيكية الكميّة، والنسبية العامة، غير معروفتين في بداية القرن؛ إذ إنَّ نظريات مستقبلية يُمكن أن تُغيِّر رؤيتنا للكون تغييراً جذرياً، كما شدَّد "ريفز" في مقدّمته.

من المُهِمّ، قَبْل أن نبدأ رحلتنا الصعبة في مستقبل الكون، البعيد، التذكير بأن فكرة العَود الأبديّ طغت على رؤيتنا للمستقبل خلال فترة طويلة. إذ طوَّرت حضارات الماضي الكبرى، من البابليين إلى الهندوس والمايا، علماً كونياً يقوم على مفهوم الزمن الدائري : ففي نهايةِ زمنٍ معين، يختلف من حضارةٍ إلى أخرى، يَتجدّد الكون، ويُعاود مسيره. وبحسب البابليين، كلُّ "دورةٍ فلكية" تدوم 424000 سنة، بينما تستشرف الأساطير الهندية فترات أكثر طولاً. إذ يدوم يومٌ من أيام الإلّه براهما (كالبا) حوالي أربعة مليارات سنة؛ وتشهد نهاية هذا اليوم تدمير المخلوقات كافة، وتجديدها. وتذوب مادة الكون كما يذوب الإلّه براهما نفسه، في شكلٍ من الروح الخالص، ومنه يتجدَّدان كل 311 تريليون سنة (10^{14} x 3.11 سنة). حتى إنَّ فلاسفة المدرسة "الرواقية" الإغريق يعتقدون أنَّ الكائنات نفسها، لابُدَّ أن تظهر، والأحداث نفسها لا بُدَّ أن تتكرَّر في كلِّ دورة، وهذا شكلٌ أخير لِلعَود الأبديّ لم يكن أرسطو يستطع قبوله.

استوحِيَ مفهوم الزمن الدائري بوضوح من مراقبة دورية الظواهر الطبيعية المختلفة (مثل دورة الفصول، وأطوار القمر، إلخ.)، وهي ظواهر مهمة للغاية في حياة حضارات الماضي الزراعية. وعلى الرغم من ذلك، أدخل ظهور المسيحية رؤية خطية للزمن، قائمة على فعلٍ واحد قِوامه موت المسيح وانبعاثه. وقد عبَّر "القديس أوغسطين" بوضوح عن هذه الأفكار في كتابه مدينة الله *"مات المسيح مرةً واحدة من أجلِ أخطائنا، وعندما ينبعث لن يموت أبداً..."*. ومن الجدير بالاهتمام ملاحظة أنَّ *"القديس أوغسطين" أورد الحجّة نفسها ضد وجود عوالم أخرى مأهولة، كما رأينا في الفصل الثاني.*

هاتان الرؤيتان للمستقبل، المتطابقتان مع الزمن الدائري والزمن الخطي،

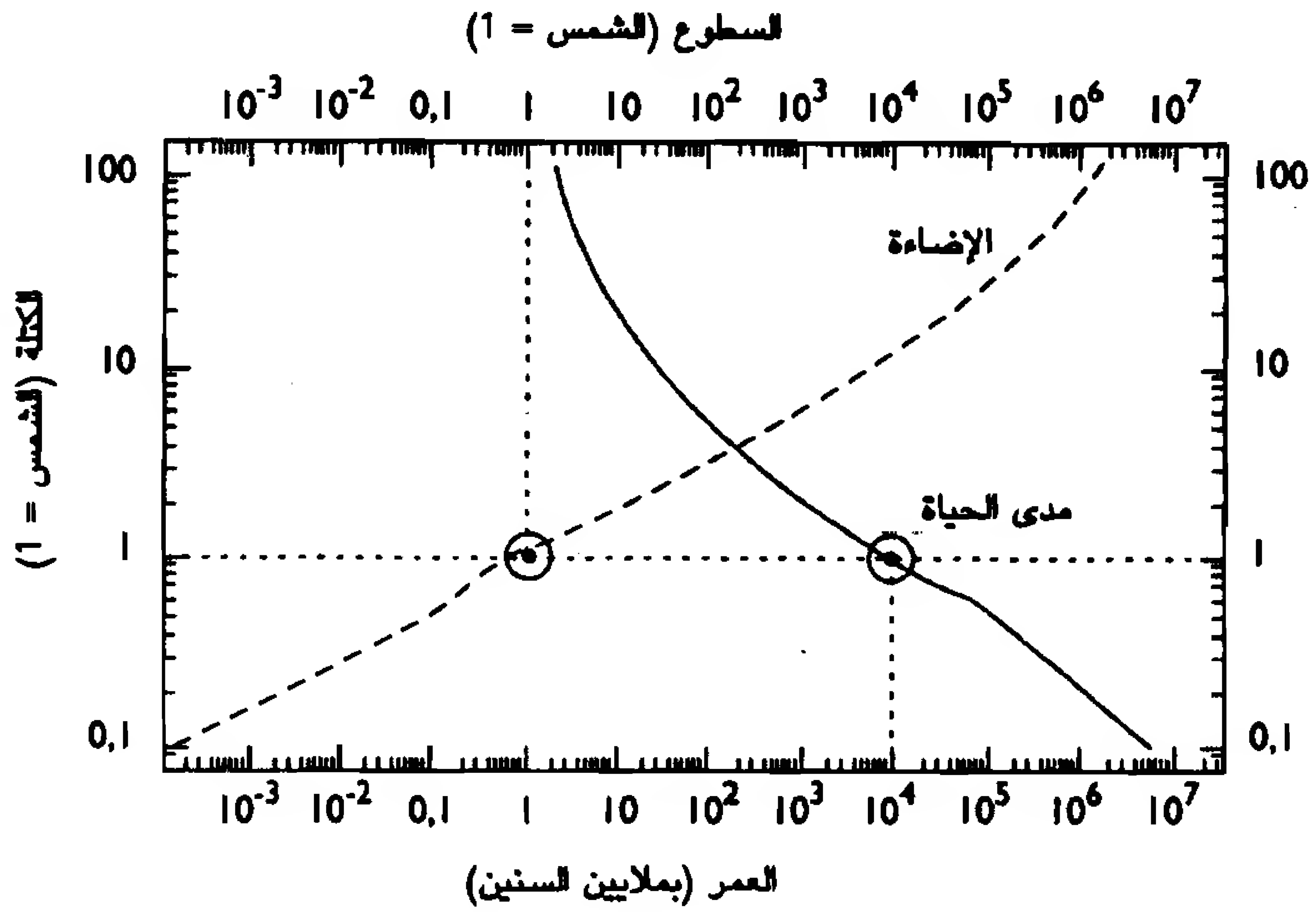
تُوجدان أيضاً في علم الأكوان الحديث، كما سوف نرى لاحقاً. ويبدو أنّ حال معارفنا الراهنة تُفضِّل الزمن الخطِّي، إلّا أنَّ إمكانية العَود الأبديّ ليست، مع هذا، مستبعدة نهائياً. ومع ذلك، الميزة الوحيدة لرحلتنا في المستقبل البعيد هو أنَّ الأمر، خلافاً للفصول السابقة، لم يعد أمر تطوُّر وتقدُّم مستمرَّين؛ فسوف تُستبدَل هذه المفاهيم بالبحث عن إمكانيات البقاء في كونٍ يُعاكِس أكثر فأكثر تعقيد الحياة الهشّ.

غسَــقُ الآلهـة الطويـــل

"تعبرُ مجرَّتنا الآن ربيع حياتها القصير، ربيعٌ مهيب، بفضلِ وجود النجوم الزرقاء - البيضاء اللامعة جداً مثل فيغا وسيريوس وكذلك (على درجة أكثر تواضعاً) شمسنا نحن. لكن لن يبدأ تاريخ الكون فعلاً إلا بعد نهاية شبابها المتوهِّج. سوف يكون تاريخاً يُنيره فقط وميض النجوم الصغيرة التي لا تكاد عيوننا تراها، الوميض الضعيف الأحمر وتحت الأحمر. وعلى الرغم من ذلك، يُمكن أن يبدو مظهر هذا الكون المظلم عارِمَ الجمال، وبألوان مخلوقات غريبة قد تتوصَّل إلى التكيُّف معه. ولَسوف تعلم أنّ ما يمتدُّ، أمامها، ليس ملايين سنين عصورِنا الجيولوجية، ولا مليارات سنين حياة النجوم المعروفة، بل تماماً تريليونات من السنين. سوف تمتلك، خلال هذه القرون اللانهائية، ما يكفي من الزمن لكي تجرِّب عملياً كل شيء، وتتعلَّم كل شيء. لن تكون كالآلهة، لأنَّ أيَّ إلّه يتصوَّره ذهننا لم يملك أبداً القوة التي سوف تمتلكها. لكن، على الرغم من قوَّتها، سوف تحسدنا، نحن الذين سبحنا في ومض الإبداع اللامع؛ لأننا عرفنا الكون حين كان مايزال شاباً..."

آرثر س. كلارك، ملامح المستقبل

من الصعب أن نصِف مستقبل مجَرّتنا وباقي المجرّات في الكون، على مستويات زمنية تفوق مئات المرّات ما صادفناه في الفصول السابقة بشاعرية أفضل من شاعرية هذا المقطع الذي كتبه كلارك. وفعلاً، تركت مجرَّتنا، هذا التجمُّعُ الحلزوني الضخم من مئة مليار نجم، أيامَها الجميلة خلفها. وإذ وُلِدت قبل حوالي اثني عشر مليار سنة نتيجة تكثُّف الغاز الأوّلي، فقد شهِدت في داخلها تكوُّن أجيال متعاقبة من النجوم؛ لكنَّ النجوم، على عكس الألماس، ليست أبدية.



الشكل 4-1. عمر النجوم (الخط المتواصل، السلّم في الأسفل) والإضاءات خلال مرحلة الاشتعال المركزي للهيدروجين (الخط المُتقطّع، السلّم في الأعلى)، بحسب كتلتها. القيم المتطابقة بالنسبة للشمس مؤشّرة بالرمز⊙

تبرق النجوم الضخمة، التي تساوي كتلتها على الأقل ضِعفَي كتلة الشمس، عشرات وربما آلاف المرات أكثر من بريق الشمس؛ لكن يا للأسف! فألوانها الجميلة الحية، البيضاء والزرقاء، لاتدوم وقتاً طويلاً جداً: مليار سنة على الأكثر، بل عدّة ملايين فقط في حال النجوم الأكثر ضخامة، قبل أن تستنفد مخزونها من الهيدروجين. حينئذٍ يأتي العصر المتقدم للعمالقة الحُمر، الأقصر من العصر الفائت؛ ثمَ يأتي الموت، إما في تألّق انفجارِ المُستعِر، وإمّا، بهدوء، وذلك بقذف الغلاف النجمي على شكل سديم كوكبي. في الحال الأولى، التي تتعلّق بالنجوم الأكثرُ ضخامة من عشر شموس، يُوَلِّد الانفجار بقايا مدموجةً للغاية، بنصف قطر يقل عن عشرة كيلومترات؛ حيث تأخذ هذه الأجسام، والنجوم نوات النيوترونات وخصوصاً الثقوب السوداء، دوراً مهماً فيما سيأتي من تاريخنا. وفي الحال الثانية، المتّصلة بالنجوم التي تقِلّ كتلتها عن عشر كُتل شمسية، البقايا

هي مادة بلورية تتكون بشكلٍ أساسي من الفحم والأكسجين، أي قزمٌ أبيض، بحجمٍ يُساوي حجم أرضنا. وفي الحالين كلتيهما، الجزء الأعظم من كتلة النجم الأساسية يُلقى في الوسط المجرّاتي؛ وهذا الوسط يغتني هكذا تدريجياً بعناصرَ ثقيلة (فحم، وأكسجين، وحديد، إلخ.)، تنتُج عن التفاعلات النووية التي تمَّت وسط النجوم.

هذه الفئة الأولى من النجوم اللامعة والنشطة في المجال النووي - التركيبي غير موجودة بكثرة، بحكم أنّها لا تُمثّل إلا جزءاً ضئيلاً من مئة من جيلٍ نجمي. فالنجوم الأكثر عدداً هي ذات الكتلة المتوسطة، التي تتراوح بين نصف كتلة الشمس، وضِعفها. تلمعُ هذه النجوم خلال عدة مليارات، وربما عشرات المليارات من السنين، بألوانٍ تتحوّل من البرتقالي إلى الأصفر الصارخ. وتُنهي حياتها، على شاكلة الشمس، بالتحوُّل إلى أقزام بِيض، بعد أن تكون قد مرَّت بمرحلة العملاق الأحمر. وعلى الرغم من ضَعف إضاءتها الذاتية، يطغى إشعاعها الجماعي حالياً على المجرَّة، بسبب تفوقها العدَدي؛ وفي الواقع فإنَّ القليل منها، على عكس أخواتها من الفئة الأولى، مات منذ ولادة درب التبّانة.

يبقى النموذج الثالث، المُتّصل بأصغر النجوم، التي تقلُّ كتلتها عن نصف كتلة الشمس. وتقِلُّ إضاءتها عدّة عشرات إلى عدة آلاف مرَّة عن إضاءة الشمس، وألوانها الحمراء الشاحبة لا يكاد بعضها يتميّز عن الآخر على خلفية السماء. ومع ذلك، يسمحُ لها الاستهلاك المُقتّر لمخزونها الضعيف من الطاقة بأن تشعَّ مئات المليارات من السنين. تستطيعُ أصغرها، التي لا تفوق كتلتها عشر كتلة الشمس، أن تعيش حتى أكثر من عشرة آلاف مليار سنة. وستكون هذه، بوضوح، حال جارنا الأقرب الحالي، بروكسيما سنتوري (قنطورس)، الذي سيعيش عمُراً ألف مرة أكبر من عمر شمسنا. لن تصير هذه الأقزام الحمراء أبداً عمالقة، على عكس الشمس والكواكب الأخرى المعتادة، ولن ترتفع إضاءتها أبداً إلى أكثر من

عامل عشرة بالقياس إلى قيمتها الحالية. لكنَّ نوعها، الأكثر عدداً من الأنواع الأخرى مُجتمعةً، هو الذي سيرثُ المجرَّة على المدى البعيد...

استنفدَ درب التبانة اليوم موارده كلَّها تقريباً. فبعد 12 مليار سنة من التطوُّر، حوّل 90% من غازه إلى نجوم، سبق أن ماتَ كثير منها. تنقص إضاءة المجرَّة مع اختفاء النجوم الضخمة، الزرقاء واللامعة، وتصبحُ ألوانها أقل حيويةً نتيجة وقوعها تحت هيمنة نجوم النموذج الشمسي. بالتأكيد، تستمر الأجيال الجديدة من النجوم الضخمة في الوصول إلى المشهد المجراتي، لكنَّ عددها لا يعود يعوّض الخسائر، لأن مخزونات الغاز قد انخفضت بشكلٍ خطير. وهكذا يميل لون مجرَّتنا الشائخة إلى الأصفر ـ البرتقالي، ببطء ولكن بلا تراجُع. وبعد عشرات المليارات من السنين الإضافية، لن يبقى فيه عملياً أية كمية من الغاز، وسوف تصل قدرته على تكوين النجوم إلى نهايتها. وحينئذٍ سيُشبه درب التبانة أخواته، المجرَّات الإهْليلَجِية، التي يشهد لونها الأحمر، والغياب الحالي للغاز أو النجوم الضخمة على شبابٍ جنوني، مُفرِط النشاط.

في غضون ذلك، سوف تتأثّر الحياة الهادئة نسبياً لمجرَّتنا بالتأكيد بجاراتها القريبات. المجرَّة الأكبر في ضاحيتنا الكونية هي آندروميدا، التي تقع على مسافة 2 مليون سنة ضوئية تقريباً. تقترب آندروميدا حالياً من درب التبانة 120 بسرعة كيلومتراً/في الثانية. وتُبيِّن الحسابات أنَّ مسارَيْ المجرَّتين سيتلامسان خلال 6 مليارات سنة، على وجه التقريب، في الفترة التي ستبدأ فيها شمسنا بالانتفاخ لتصبح عملاقاً أحمر. طيلة هذا المرور المتقارِب، سيؤدّي مفعول حقل آندروميدا الجنبي في غاز مجرَّتنا (خاصةً غاز محيط القرص) إلى تحريض هبّة تكوين نجوم، على غرار بقية المجرَّات المُتداخلة التي تظهرها لنا الأرصاد حالياً. وإذ تُكمل آندروميدا سباقها المجنون في الفضاء بين المجرّاتي، سوف تبتعد لكن ليس لفترةٍ طويلة. وسوف تستمِر مروراتٌ أخرى، متقاربة بشكلٍ متزايد، لأن المجَرَّتين مرتبطتان بشدِّهما التجاذبي المتبادَل. وبعد عدة

مئات من مليارات السنين، سوف تندمج آندروميدا ودرب التبانة واثنتي عشرة من المجرّات الصغيرة التي تشكِل مجموعة محلية، في مجموعة نجمية شاسعة. على عكس الحدس، لن تكون هذه التجمعات المجرّاتية مدهشة، حتى لو جرت بسرعات عالية جداً: ثمّة فضاء بين نجوم أيّة مَجرّةٍ، يبلغ من الاتّساع حدّاً يجعل خطر الاصطدام النجمي ضعيفاً للغاية.

حينئذٍ سوف يبدأ الغسق المجرّاتي الطويل. سوف تُضطّر حضارات تلك الفترة، في كل مرّة يقترب فيها نجمها من نهاية حياته، أن تحقّق المآثر من أجل إطالة وجوده. فالانتقال إلى محيط نجم آخر، مازال نشِطاً، أو التمديد الاصطناعي لحياة نجم يموت، بواسطة "تخفيف" كتلته، من تقنيات البقاء التي ذكرناها في الفصل السابق. أكيدٌ، سوف يَجد مهندسو فلك ذلك المستقبل البعيد، أشباه الآلهة في نظرنا، بحسب "كلارك"، تقنياتٍ أُخرى. قد يتمكّنون، على سبيل المثال، من استخدام الكتلة الغازية المأخوذة من النجوم المُحتَضرة لتغذية مفاعلات الاندماج الحراري النووي المراقَب، أو لخلق نجومٍ أخرى أيضاً. حينئذٍ لا بُدّ من إمكانية تخزين هذا الغاز خلالَ وقتٍ طويلٍ بشكل مُخَفّف الكثافة، باستعمال المجالات المغناطيسية على الأرجح؛ ثُمَّ، في الوقت المحدد، قطع المجال المغناطيسي ودفع الكتلة الغازية لتتكاثف تحت ثقله الخاصّ. عندما تصل درجة الحرارة في مركز الغيمة المنهارة إلى عدة ملايين درجة، ستّتقد تفاعلات اندماج الهيدروجين، وتولد شمسٌ جديدة. ويمكنهم، بالمُقابل، استخدام المخزون الواسع السليم من هيدروجين *الأقزام السُمر (نجوم أخفّ على الأقل عشر مرات من الشمس، لا تتمكن من حرق هيدروجينها) لتغذية محرّكات الاندماج الحراري النووي. ومن جهة أخرى، في إمكان مهندسي فلك المستقبل، من أجل مواجهة النقص في العناصر الثقيلة (فحم وأكسجين، ونيكل، وحديد، إلخ.)، أن يعملوا على دمج عدّة أقزام سمراء لصناعة كوكب ضخم، ثُمّ تحريض انفجاره في مُستعِرٍ مّا، واستعادة المواد المطرودة (لقد قذف انفجار المستعِر SN1987A، في المجرّة القريبة من*

سحابة ماجلّان العظيمة، في شباط/فبراير من عام، كتلةً من النيكل تساوي عشرين ألف مرّة كتلة كوكبنا).

سوف تبدو مآثر الهندسة الفلكية هذه، بالأحرى عادية في نظر حضارة النموذج من تصنيف "كارداشيف"، التي باستطاعتها إدارة مجموع المصادر المادية والطاقيّة لمجرَّة كاملة. لكن، على الرغم من مقدرة حضارات المستقبل التي تفوق التصوُّر، لن تستطيع تأخير المحتوم إلى الأبد. ولَسوف تجدُ نفسها، بعد آلاف المليارات من السنين، من دون أي مصدر للطاقة النجمية، في مجرَّةٍ مكونةٍ من موادٍ باردة: أقزام سمر، وأقزام سود (أقزام بيض سابقة بردَت تماماً)، ونجوم نيترونانيّة، وثقوب سوداء، وكواكب، وكويكبات. وسوف تَثقُبُ ومضاتٌ نادرة من الأشعة تحت الحمراء الظلمةَ المُغِمَّة للَّيلِ المجرَّاتي الطويل ...

المـوت الحراري للكون

لم يجهل العلم في القرن التاسع عشر غسق الكون، الطويل، واحتمال حدوث نقص في الطاقة على المستوى الكوني في مستقبلٍ بعيد. كان الوعي ينشأ من تطور علم التحريك الحراري (الترموديناميك)، وهو علم كان هدفه الأساسي فهم تبادلات الطاقة الحركيّة والحرارة في الآلات البخارية. قادَ هذا التطور إلى ظهور مفاهيمَ خصبة يمكن تطبيقها على معظم المنظومات الفيزيائية. توجد قوة الحركة الحرارية في الطابع العام لمفاهيمها، بمعزل عن البنية التفصيلية للمنظومات المشار إليها، وهذا ما يعطيها قيمة عامة.

يُرمز إلى الطابع العام (العموميّة) بالقانون الثاني لعلم التحريك الحراري، المشهور، الذي يرتبط أصلهُ التاريخي باِسمَيّ الفرنسي "سادي كارنو"، والألماني "رودولف كلوسيوس". فقد درَس "كارنو" المردود الأقصى لآلة تُحوِّل الحرارة إلى عمل، واعترفَ أنَّ العامل الحاسم هو الفرق الحراري بين مصدر الحرارة، و"الحوض البارد" الذي لا بُدَّ منه. ولاحظَ "كلوسيوس" أنَّ

هناك حتماً، في كل عمليةٍ من هذا النوع، تسرُّباً للطاقة على شكل حرارة تتبدّد في الجوّ المحيط، وتصبح غير صالحة للاستعمال لاحقاً. كانت الصياغة الأولية للقانون الثاني لعلم التحريك الحراري التي وضعها "لورد كلفن" ترتكز بالضبط على هذه الملاحظة : "*من المستحيل تحويل كمية من طاقةٍ معينة إلى فعل بفعالية مئة بالمئة.*"

ومع ذلك، فالقانون الثاني معروف، عل الأرجح، بصياغةٍ أخرى، تعود إلى "كلوسيوس"، الذي ندين له أيضاً بمفهوم القصور الحراري (باليونانية "أنتروبيا" نزوع باطني إلى التغيير). يُمكننا القول، في حال الآلات الحرارية، إن القصور الحراري يقيس عدم قدرة الحصول على عمل؛ وهو يعتمد، بالطبع، على الفرق في درجة الحرارة بين المصدر الحارّ والحوض البارد: عندما يكون هذا الفرق عالياً، يكون القصور الحراري للنظام ضعيفاً والعكس صحيح. على سبيل المثال، درجة حرارة الشمس، العالية هي بالفعل مصدر قصور حراري ضعيف، وبالتالي، مفيد لنا؛ وبالمقابل، حتى لو احتوت المحيطات على كميات ضخمة من الحرارة، فهي غير مفيدة لنا من وجهة نظر طاقية، لأنها تفتقر إلى الحوض البارد الذي لا يمكن الاستغناء عنه. وفي الواقع فإنه لما كانت الحرارة تنزع دائماً إلى تحويل الأجسام الحارة إلى أجسام باردة، فإنَّ فروق درجات الحرارة تنزع دائماً إلى الاستواء. ومن هنا تأتي صياغة القانون الثاني، بحسب "كلوسيوس"، الذي يشترط أن "*القصور الحراري لمنظومة معزولة لا يمكن إلا أن يزداد مع مرور الزمن*".

وفق تفسيرٍ آخر، القصور الحراري لمنظومةٍ مّا هو معيار اختلالها. ذلك أنَّ للمنظومة المنسَّقة، المبنيّة بإحكام، قصوراً حرارياً ضعيفاً، لكنها، إذا تُركت وحيدة (من دون تفاعل مع المحيط)، تنزع إلى الاختلال، وتتبدَّد بُناها وتميل إلى التجانس. فذوَبان قطرة حليب في القهوة، وانهيار بيوت قديمة وتحوُّلها إلى خرائب، أمثلة على ارتفاع الاختلال الفوريّ. يمكن بالتأكيد أن تظهر بُنى جديدة

(بيوت مبنيّة أو مجدَّدة) ويمكن أن يُختزَل القصور الحراري موضعيّاً، لكن مقابل زيادة أكثر اتساعاً في داخلِ المنظومة.

هل يمكننا أن نتصوَّر خرقاً للقانون الثاني من علم التحريك الحراري؟ في عام 1867، داعبَ الفيزيائي الانكليزي "جيمس سي. ماكسويل" هذه الفكرة. فقد تفحَّص علبةً مملوءة بغاز درجة حرارته وضغطه متجانسان (في "توازن تحريك حراري" بحسب مصطلحات الفيزياء العامة)؛ فنظراً لأنَّ سَريان الحرارة مستحيل في داخل المنظومة، ينطبق هذا الوضع على أقصى حالات القصور الحراري. ولْنفترض الآن أنَّ كائناً صغيراً جداً، أسماه اللورد "كلفن" بـ"شيطان ماكسويل"، يعمل بالطريقة التالية: بواسطة فتح أو إغلاق حجاب حاجز في وسط العلبة، يَسمح لجزيئات الغاز ذات السرعة العالية بالمرور من جهة الحجاب الحاجز، ولا يسمح لها بالمرور من الجهة الأخرى؛ ويفعل العكس مع الجزيئات ذات السرعة القليلة. بعد مُضيٍّ زمنٍ معيّن، ستتواجد كل الجزيئات ذات السرعة العالية في جهة من الحاجز، بينما تتواجد الأخرى ذات السرعة المنخفضة في الجهة الأخرى. وإذ إنَّ درجة حرارة الغاز تعتمد على معدل سرعة جزيئاته، سنجد أنفسنا هكذا أمام فرق في الحرارة بين الجزأين، وهذا ما يسمح باستخراج الطاقة المفيدة! بطبيعة الحال، القصور الحراري للعلبة سيجد نفسه حينئذٍ منقوصاً بالقياس إلى حالته الأولية. أهي المفارقة؟ مما لاشكَّ فيه، لكن "ماكسويل" كان سيُفضّل، في تلك الفترة، أن يُفسِّره تفسيراً إحصائياً.

لقد بيَّنَ تفحّصُ "المفارقةَ" الأكثر عُمقاً، الذي قام به الفيزيائي المجري "ليو سزيلار" خلال عشرينيات القرن الماضي، أن "الشيطان"، مهما كان ذكياً، فلن يصل إلى أهدافه. فمن أجل معرفة سرعة الجزيئات، سوف يكون مجبراً على إضاءتها، على غرار رادار الشرطة الذي يَكشف الإفراط في السرعة. يتطلب هذا العمل الكمي استهلاكاً للطاقة، وبالتالي ارتفاع القصور الحراري داخل العلبة، ارتفاعاً سيعوض بشكلٍ كبير النقص الناتج عن انتقاء الشيطان. وعلى نحوٍ

عَرَضيّ، يوضِّح حلُّ المُفارقة تفسيراً ثالثاً، وأكثر حداثةً، للقصور الحراري: إنه معيار لنقص المعلومات التي نملكها حول منظومة معيَّنة.

يشهدُ عجز "شيطان ماكسويل" على استحالة التملُّص من القانون الثاني للتحريك الحراري. ذلك أنَّ أهميّته، في نظر "سير آرثر إدينغتون" أكبر فلكيّ خلال فترة ما بين الحربين العالميّتين، تبلغ حدّاً يجعل منه "قانون الطبيعة الأسمى". فلْنسمعه يقول: "... *في وسعكم أن تبتدعوا نظرية تُناقض الملاحظات أو النظريات القائمة، أقول بئس الأمر لهذه النظريات أو لأولئك المُـراقبين. لكن، إذا ناقضت نظريتُكم القانوَن الثاني للتحريك الحراري، فلن أعطيكم أيّ أمل، لأنه لا يُمكن إلا أن ينهار في الإذلال*...".

وقد استبصر الفيزيائي الألماني "فون هيلمهولتز" في العام، مستنداً على القيمة العامّة للقانون الثاني، الكون المستقبلي في حالٍ من التجانس المطلق، حيث سيكون كلُّ فرق في درجة الحرارة مُنخفضاً إلى درجة الصفر، وقد يصل إلى توازنٍ ترموديناميكي عام. وهكذا كان مفهوم "الموت الحراري" للكون قد وُلِد لِتوِّه. بعدَ عشرة أعوام، أوضَح "كلوسيوس" أفكار "هيلمهولتز" قائلاً: "... *كلما اقترب الكون من حال القصور الحراري القصوى، راجعت فرص التغييرات اللاحقة؛ وإذا افترضنا أن الوصول إلى هذه الحال قد تمَّ في النهاية، فلن يكون حدوث أي تغيير ممكناً، وسيوجد الكون في حالِ موتٍ مستديم* ..."

أحدثت هذه الأفكار، التي نوقشت على نطاقٍ واسع خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر، وقْعاً مهماً على رؤية العالم في تلك الفترة. لم تكن هذه الأفكار، من جهة أخرى، غريبةً على التيار الرومانسي، المسيطر خلال هذه الفترة كلّها. وعلى الرغم من ذلك، حاولَ علماءَ مشهورون، مثل النمساوي "لودفيغ بولتزمان" أو الفرنسي "هنري بوانكاريه"، أن يعترضوا على الصلاحية المطلقة للقانون الثاني، ومنحوه قيمةً إحصائية فقط. وهكذا، أوحى "بولتزمان" بأن ارتفاع القصور الحراري في القِسم الخاصّ بنا من الكون ينبغي أن يُعَوّض بتخفيضه في مكانٍ

آخر، على نحوٍ يبقى معه معدَّل القصور الحراري ثابتاً. قد يَنتج هذا السلوك التفاضُلي، حسب "بولتزمان"، من الفرق بين الشروط الأساسية: لا بُدَّ أنَّ نصيبنا من الكون كان في الماضي في حال قصور حراري ضعيف لم يكن في إمكانه إلا أن يرتفع، بينما كان لا بُدَّ للأجزاء الأخرى من أن تبدأ بقصورٍ حراري مرتفع كان عليه أن ينخفض بشكل "طبيعي". ومرةً أخرى نُصادف هذه البرهنة الإحصائية عند "بوانكاريه"، في مضمونٍ مختلف اختلافاً طفيفاً: ففي نظره، كلمّا كان عدد مكوِّنات الكون متناهياً، غدت غير قادرة إلا على تكوين عدد متناهٍ من الأشكال المختلفة؛ وفيما بعد، ستعود "حتماً" إلى حالها الأوّلية، ويتكرَّر هذا مرَّاتٍ لانهائية، حتى لو كان زمن التكرار اللازم طويلاً بشكلٍ لا يصدق. وحينئذٍ ربما لن يكون وجودنا في الطور الحالي من تدهور الكون إلا ثمرة المصادفة.

أثارَ مفهوم الموت الحراري للكون، بصورة طبيعية، رد فعل "فريدريك أنجلز"، المؤسِّس المشارِك مع صديقه "كارل ماركس" للحركة الاشتراكية في أواسط القرن التاسع عشر. كانت المضامين التشاؤمية للمفهوم على خلافٍ واضح مع مفهومي التطوُّر والتقدُّم، المفهومين الأساسيين للمادية الجدلية التي علَّمها الفيلسوفان. لقد أراد "أنجلز" في كتابه جدلية الطبيعة أن يطرد شبح الموت الحراري، مستخدماً حججاً مُماثلة لحجج "بوانكاريه".

"...إنَّ التعاقب الأبدي للعوالم في زمنٍ لامُتناهٍ هو تكملة منطقية لتعايش العوالم التي لا تُعَدّ في فضاء لامتناهٍ... المادة تتطور في دائرة أبدية ... ونحن واثقون من أنَّ المادة تبقى مطابقة لنفسها، ولن تفقد أية خاصّة من خصائصها خلال تحولاتها كافةً"...

استخدم الفيلسوف الألماني "فريدريك نيتشه" حججاً من هذا النوع أيضاً، لكي يبعث الحياة في أسطورة العَود الأبدي، في نهاية القرن التاسع عشر. وفي الحقيقة أنَّ "نيتشه" سَخَّر عدة سنوات لكي يدرس فيزياء عصره، ويُدافع عن هذه الأطروحة. فالنتائج التي استخلصها منها هي أساس عمله الفلسفي. ففي رأي نيتشه، قد يتضمَّن العَود الأبدي أنَّ فكرة التقدُّم باطلة، وأن الحياة ليس لها

معنى (مذهب العدميّة)، أو فكرة أنَّ الله غير موجود أيضاً، وأنه، إذا ما وُجد، عبثيٌّ عبثيّةَ الكون الذي خلقه.

أثَرت أفكار "نيتشه" تأثيراً كبيراً في فلسفة القرن العشرين. إذ ألهمت، من بين آخرين، المؤرِّخَين "أُوسفالد سبنجلر" و"أرنولد توينبي"، اللذين اقترحا رؤيةً دَورية للتاريخ البشري: فبدَلاً من التقدم المستمر، ربما يكون التاريخ بالأحرى تكراراً لدوراتٍ كلّ حضارة من ولادة، وانطلاق، وتدهور، وموت. وقد رأينا في الفصل السابق كيف تبنّى "أولاف ستابلدون" هذه الرؤية للتاريخ في روايته في الخيال العلمي "أول الرجال وآخرهم". كذلك إن العَود الأبدي أساساً لمؤلَّف "ألبير كامو" إسطورة سيزيف، المؤلَّف الرئيس للفلسفة الوجودية. فبحسب الأسطورة اليونانية، كانت الآلهة قد حكمت على سيزيف بدفع صخرةٍ حتى قمة جبلٍ في جهنّم. إنَّ عِقابه مرعب، لأنه يشعر أن جهوده تذهبُ عبثاً: فما إن تصل الصخرة إلى القمة، حتى تعود إلى أسفل الجبل، ولا بُدّ له من أن يبدأ من جديد. يجد "كامو"، مع ذلك، أن الإنسان يستطيع الاعتراض على عبثية شروط وجوده، وأن يصبح بذلك متفوِّقاً على قدره.

على الرغم من "عودة العَود الأبديّ"، كان مفهوم الموت الحراري للكون قد فرضَ نفسه في نهاية القرن التاسع عشر، على الأقل ضمن الأوساط العلمية. وكان يجب انتظار العام 1914، حتى تُعلَن الحجج الأولى المقبولة ضدّ هذا المفهوم على لسان الفيزيائي والفيلسوف الفرنسي "بيير دوهيم": "فرضية الموت الحراري تُشبِّه الكون بمجموعٍ مُتناهٍ من الأجسام في فضاءٍ خالٍ، وهذا تشبيهٌ يبدو لي مُريباً جداً ... صحيح أن القصور الحراري للكون يجب أن يرتفع باستمرار، لكن ليس هناك حدّ أعلى من هذا القصور الحراري، وربَّما لا شيء يُمكن أن يمنعه من الارتفاع حتى اللانهاية، في وقتٍ مُتناهٍ..." سوف نرى فيما بعد أن علم الكون النسبويّ أظهرَ صواب انتقادات دوهيم، من دون أن تكون، مع ذلك، قادرة على ضمان إطالة لانهائية للحياة.

تقهقرٌ أم تطــور ؟

في نهاية القرن العشرين، بات من الواضح أنَّ التقهقر الكوني الذي توقَّعه القانون الثاني للتحريك الحراريّ كان يناقض البديهية البيولوجية : فنظرية "داروين" في التطوُّر كانت قد كشفت التعقيد التدريجي للمادة الحية. وقد دفعَت صعوبةُ التوفيق بين الرؤيتين إلى العالم بعضهم إلى أن ينفي، صراحةً وببساطة، قابلية تطبيق القانون الثاني للتحريك الحراري على أنظمةٍ حية. هذه هي حال الفيلسوف الفرنسي "هنري بيرغسون"، الذي يرى أنَّ *"الحياة تصعد المنحدر الذي تنزله المادة."* والأكثر قطعيّة أيضاً هو *"آرثر كوستلر"*، في كتابه *الشبح في الآلة* :

"القانون الثاني الشهير للتحريك الحراري لكلوسيوس يفترض أن الكون يتقهقر، كالساعة المعطّلة، إلى حال الموت الحراري... لم يبدأ العلم، إلا حديثاً، بالابتعاد عن التأثير المُخدِّر لهذا الكابوس، وإدراك أن القانون الثاني ينطبق فقط على أنظمة مغلقة... وأنَّ عدم انطباق القانون على أنظمة حية كان يصعب أن تقبله أورثونوكسية مقتنعة بأنَّ كل مظاهر الحياة ينبغي أن تُختزَل بقوانين الطبيعة وحدها..."

تبنّى عالم الأحافير (المُتحجِّرات) اليسوعي "بيير تيلارد دو شاردان" موقفاً متفائلاً حاسماً. وقد كلَّفته رؤيته للعلاقات بين العلم والدين أنَّ سلطة الكنيسة الكاثوليكية همَّشته، ولم تنشر أعماله الفلسفية إلا بعد موته سنة 1955. في رأي "تيلارد دو شاردان"، يوجدُ عالمَان، العالَم الطبيعي، والعالَم الروحاني، ويوجد كلٌّ منهما مع شكله الخاص من الطاقة. طاقة الأول تتقهقر بحسب قوانين التحريك الحراري، بينما طاقة الثاني لاتخضع لهذه القوانين، ولكنها تُعقِّد المادة تدريجياً بحسب الخطة الإلَهية. وتطوُّر الذكاء *la nougenèse* سوف يبلغُ ذروته في "نقطة أوميغا" حيث يتماهى الذكاء الكوني وعقل الله :

"كانت فكرة تبدُّد الطاقة وتقهقر المادة تسيطر خلال قرن من الزمن على علم الفيزياء. لكنَّ الفيزياء، وقد استجوبها علم الأحياء، بدأت تُدرِك أنَّ الكون يطوِّر، بالتوازي مع التقهقر، سيرورةً ثانية، شاملة وجوهرية كالعملية الأولى. إذ يتعلّق الأمر بالتركيز التدريجي للعناصر الفيزيائية ـ الكيميائية في أشكالٍ مُعقّدةٍ أكثر

فاكثر، بحكم أنَّ كلَّ مرحلة مصحوبة بشكل من الطاقة الروحانية أكثر تطوراً. وهكذا فالمدُّ الصاعدُ لتطوُّر الذكاء يُعادل جزْرَ القصور الحراري، أو يتخطّاه.".

لم تستثنِ الفيزياء، على عكس أفكار "كوستلر" و"تيلارد دو شاردان"، أيَّ شيء من القانون الثاني. وما "استثناء" الأنظمة الحية إلا الظاهر، لأنها ليست مُغلقة؛ وسلوكها، الذي يتم تفحُّصه في إطارِ نظامٍ أكثر اتساعاً، متوافق كلياً مع التحريك الحراري. ذلك أنَّ تطوُّر الحياة على الأرض، على سبيل المثال، يُمثِّل خلقاً رائعاً لنظامٍ مّا، وبالتالي نقصاً موضعياً للقصور الحراري. لكنه لم يغدُ ممكناً إلا بفضلِ إسهام الطاقة الشمسية، وقد أدّى إلى تصاعُد القصور الحراري لمنظومة الأرض ـ الشمس. لكنَّ "المدّ العالي" لتطوُّر الذكاء لا يستطيع إبعاد شبح الموت الحراري.

أمّا الرؤية المُحزِنة لموتٍ بطيء للغاية في مستقبلٍ يستحيل تحديدُه لم تحرِّك حقّاً مشاعر مؤلّفي القصص، الذين يهتمُّون أكثر بالكوارث الكونية المُثيرة. ثمَّة، من بين الاستثناءات النادرة، "إسحق عظيموف" الذي عالجَ المشكلة مُعالجة رائعة في قصَّته المشهورة *"السؤال الأخير"*، المكتوبة عام *1955*. تبدأ القصَّة يوم الاحتفالات بمناسبة تدشين حاسوب عالمي ضخم، تمَّ صُنعه في فجر القرن الواحد والعشرين لكي يُدير مجموع احتياجات سكّان الأرض. تحدَّى أحد المهندسين، وهو تحت تأثير الكحول، الآلة بطرحه *السؤال المستحيل*: *هل نستطيعُ أن نعكِس القصور الحراري للكون؟"*؛ وأجاب الحاسوب: *"ليس لديَّ ما يكفي من العناصر التي تسمح لي بالإجابة..."*

ثُمَّ تَمضي القرون والألفيَّات ويتطوَّر البشر، كما يتطوَّر الحاسوب الضخم. ومن وقت إلى آخر يطرحُ عليه إنسان السؤال نفسه، ويتلقّى دوماً الجواب نفسه: "... ليس في حوزتي بَعدُ المعلومات الكافية...". وهكذا اكتسب السؤال مع مرور الزمن أهميةً عملية، وأصبح أكثر إلحاحاً لأن النجوم الأخيرة تُنازِع الموت، ويدخل الذكاء فترة طويلة من الاحتضار. وينطفئ ممثِّله الأخير (الإنسان) ذات يومٍ، بعد

أن يسأل مرّةً أخيرة السؤال المشهور، وبعد حصوله على الجواب نفسه من الحاسوب الكوني الضخم، المُركَّب في مكانٍ مّا من الفضاء الشاسع (كذا). لكنَّ الحاسوب الضخم يستمر في العمل (لا يُحدِّد عظيموف بأيّة معجزة!)، مجبراً على تنفيذ المهمة الأخيرة التي يطلبها أسياده. فيُتابع، طيلة قرونٍ، جمع العناصر اللازمة، ودراستها وتحليلها بصبر. ويأتي اليوم الذي يكون فيه أخيراً جاهزاً للنُّطق بالعبارة المشهورة: *"فلْيكُنِ النور!"* والنورُ كان... *إنَّها* نهايةٌ جليلة لأفضل قصَّة في *الجنس الأدبي، الذي يُفضِّله "الدكتور المُلهَم"* عظيموف. إنَّما يستحيل، من جهةٍ أخرى، *الهروب* من سطوة القانون الثاني بطريقةٍ أخرى غير المُزاح.

كان فيزيائيُّو القرن التاسع عشر غير قادرين على تحديد تاريخ الموت الحراري للكون، لأنهم لم يكونوا يعرفون مصدر طاقة النجوم، ولا مبدأ التطوُّر المجرَّاتي. كان يُمكن لهذه المعارف أن تسمح لهم بتحديد موضع الحدث بعد عدّة آلاف مليارات السنين. لكنَّ هذا التكهُّن خاطئ لأن الكون، خلافاً لمفاهيم فيزياء القرن التاسع عشر، ليس ساكناً. إذ تُتيح لنا ضروب التقدُّم في القرن العشرين أن نتوقَّع منظوراتٍ مختلفة جذرياً لتطوُّر الكون في المستقبل، ومع ذلك شديدة التشاؤم إزاء ما هو مُتَّصلٌ بالحياة.

كون الانفجار العظيم

إنَّ إحدى أكبر الصدمات الفلسفية التي سبَّبها العلم في قرننا مُتَّصلة برؤيتنا للكون. حيث إنَّ سلسلة من الاكتشافات النظرية والرصديّة، بدأت خلال العشرينيات، جاءت لتهدِم التصوُّر القديم عن كونٍ ساكن، ثابتٍ وأبديّ، وتستبدِله بصورة كونٍ قيدَ التطوُّر المستمِرّ.

بدأ تاريخ الفلك الحديث، العِلم الذي يدرس الكون بمجموعه، مع تطور النسبية العامة عند "ألبرت آينشتاين"، سنة 1915. يتعلّق الأمر بأفضل نظرية حصلنا عليها اليوم لوصفِ الجاذبية، القوة الوحيدة المهمة على مستوى الكون. إذ

أكَّد عالِم الرياضيات الروسي "ألكسندر فريدمان"، الذي درسَ معادلات علم الكون النسبي سنة 1922، شيئاً استثنائياً: لا يمكنُ أن يكون الكون ساكناً، لكن لا بُدَّ أن يوجد في حركة شاملة، إما بالتقلُّص، وإمَا بالتوسُّع. وقد تمَّ دحضُ اعتراضات"آينشتاين" الفلسفية سنة، عندما اكتشفَ الفلكي الأميركي "إدوين هابل" أن كل المجرَّات تبتعد عن مَجرَّتنا بسرعة مُتناسبة مع بُعْدِها. كان نموذج الكون المُتَّسِع قد وُلِد توّاً. وتجدر مُلاحظة أن هذا لا يستلزم بتاتاً أن نكون في مركز الكون، مثلَنا كمثلِ أيّة نملة على سطحِ كرة ننفخها، لا تستطيع أن تَدَّعي لنفسها موقعاً مُحدَّداً.

توحي صورة التوسُّع، بطبيعة الحال، أنَّ الكون كان في الماضي أكثرَ كثافةً من اليوم، وبالتالي، أكثر حرارة، حسب خاصية الغازات، المعروفة (بحكم أنَّ "ذرّات" الغاز الكوني هي المجرَّات نفسها). وفي الثلاثينيات، أوحى الخوري البلجيكي "جورج لوميتر"، الذي استكشفَ هذه الصورة حتى أقصاها، بأنَّ الكون كان قد انبجس قبل عدة مليارات سنة من الآن، من حالٍ أوَّلية ساخنة جداً وكثيفة، من "الذرَّة البدائية" *l'atome primitif*. وفي نهاية الأربعينيات، استكشفَ الفيزيائي الأميركي (من أصلٍ روسي) "جورج غامو" ومعاونوه، بمساعدة الفيزياء النووية، "ذرّة لوميتر البدائية". كان عملهم يُفضي إلى استنتاجَين هامَّين.

ـ إذا كان الكون الأوَّلي في الماضي قد بلغ درجات حرارة تفوق عدة آلاف درجة، فلا بُدَّ أن تبقى اليوم "بقيّة" لشبابه اللامع، إشعاع (لا تراه عيوننا)، يتطابق مع حرارة تبلغ بعض الدرجات فوق الصفر المطلق، بسبب البرودة التي يُسبِّبها التوسُّع.

ـ إذا كان الكون قد عرفَ درجات حرارة أعلى أيضاً، عدَّة مليارات درجة، فحينئذٍ لم تكن المادة تستطيع أن توجد إلا على شكل جزيئات أساسية (بروتونات، ونيوترونات، وألكترونات، إلخ)؛ وكان يُمكن أن تُنتج التفاعلات النووية

بين هذه الجزيئات في حرارة الكون الأوّلي بعضَ النُّوى الخفيفة وخاصةً الهليوم-4، العنصر الكيميائي الأكثر وفرةً بعد الهيدروجين على المستوى الكوني.

تناسى الفيزيائيون عملياً تكهُّنات غامو هذه خلال خمسة عشر عاماً. لكن الأميركيان "أرنو بِنْزياس" و"روبرت ويلسون" لاحظَا سنة 1965 أن هوائي الراديو الجديد الذي كانوا يجرِّبونه لصالح شركة بلّ للهاتف في نيويورك، يلتقط إشعاعات طفيلية غريبة، ضوضاء كان يبدو أنّها قادمة من اتجاهات السماء كلّها بالكثافة ذاتها. كان ردُّ فعل المنُظِّرَين مُباشراً: ممّا لا شكَّ فيه أنَّ الأمر كان مُتعلّقاً بإشعاعات حرارية تكهَّنها "غامو"، أي بِبقية ريعان شباب الكون، بردت اليوم إلى درجة 3 كلفن (-270 مئوية) بعد 15 أو 20 مليار سنة 1964 من التوسُّع. هذا الاكتشاف أقنَعَ المجموعة العلمية بصحَّة نموذج لوميتر ـ غامو. وفي سنة قدَّم عالِم الفيزياء الفلكيّة البريطاني "فريد هولي" وزميله "روجر تايلر"، سبباً إضافياً للاعتقاد بذلك، حيث بيَّنَا أن النجوم، مصدر العناصر الكيميائية كلّها تقريباً، ليست قادرة على إنتاج الوفرة الكونية العالية من الهليوم-4 (حوالي 25% من الكتلة)؛ يبقى المصدر الوحيد الذي يُفكَّر فيه هو الكون الأوّلي الساخِن.

منذ أواسط الستينيات، فَرَضَ نموذج الانفجار العظيم نفسه، هكذا أسماه "هولي"، من باب السخرية، خلال برنامج على الإذاعة البريطانية BBC سنة 1948، وكأنه وحدَه القادر على تفسير الظاهرات الثلاث القابلة للمُلاحظة: "هروب" المجرّات، والإشعاع الحراري الكوني، ووفرة الهليوم-4، وعناصر خفيفة. وقد تمكَّن علماء الفيزياء الفلكيّة، في إطار هذا النموذج، من مُلاحقة تاريخ كوننا، قليلاً مثل علماء الأحافير وهم يُعِدُّون نظرياتهم عن تطور الأنواع مستندين على المتحجرات التي اكتشفوها. في هذا التاريخ الشامل تتميز فترتان كبيرتان:

ـ *العصر الإشعاعي*، الذي دامَ حوالي 300000 سنة بعد الانفجار العظيم. خلال هذه الفترة بقي الكون غير مُتَّميِّز، "حساء" من الإشعاع، جزيئات أساسية، ونوى (أنوية) خفيفة، كان يبرد ويذوب تدريجياً. وكان القصور الحراري لهذا

المزيج المتجانس يبقى، بالطبع، قريباً من القصور الحراري الأقصى، وما كانت أيّة بنيّة تستطيع أن تتطور في داخله. وشيئاً فشيئاً، تحوّلَ الحساء إلى "ضباب" كثيفٍ أبيض، ثم إلى أصفر فأحمر، دائماً غير مُنفِذ للإشعاع الكهرمغناطيسي بسبب الاصطدامات المتعددة بين الفوتونات والالكترونات المشحونة. عندما تهبط درجة الحرارة عدة آلاف الدرجات، تتشكل الذرات الأولى نتيجة التقاط النُّوى للألكترونات؛ وحينئذٍ يصبح الوسط لأول مرة شفافاً أمام الفوتونات، لأنها تتفاعل قليلاً مع الذرات بسبب الحيادية الكهربائية لهذه الأخيرة. منذئذٍ، تشهد هذه الفوتونات على وجود كون أوّلي ساخن، يتوالد دونما اضطراب بخطٍ مستقيم إلى أن يحدث اصطدام نادر جدّاً مع جسمٍ نجمي (أو مع هوائي بنزياس وويلسون)،

ـ *العصر المادي* يشغل بقية قصة الكون. تبدأ تكثُّفات الغاز الكوني الأولى بالظهور تحت التأثير المحلّي للجاذبية، الذي ينتشلها من التمدُّد الشامل للكون. سوف تشكِّل مظاهر التكثف هذه، وهي تتوسع بفعل ثِقلها نفسه، المجرَّات الأولى؛ وتتشكَّل في داخلها تكثُّفات أصغر، هي الأجيال النجمية الأولى. طبعاً، تكوين كلّ بنيّة من هذه البنى (مجرَّات، ونجوم، وكواكب، وبالأحرى، الحياة) يُخفِّض القصور الحراري محليّاً، أنَّما يترافق مع هذا التخفيض إرسال الإشعاع الكهرمغناطيسي (مع الحرارة)، على نحوٍ لا يُمكن معه للقصور الحراري الشامل للكون إلا أن يرتفع باستمرار.

ذلكم هو سيناريو ماضي كوننا، الذي أعدّه علماء الفلك خلال الربع الأخير من القرن، وقابلوه بنجاح بالملاحظات؛ ولا يؤثر في هذا النجاح بتاتاً أنَّ بعض المظاهر، كالآلية المفصلة لتكوين المجرَّات، مازال غامضاً نسبياً. أما فيما يتعلّق بأصل الكون، فإنه يخرج دائماً عن نطاق فهمنا. وفي الواقع فليس بإمكاننا حتى أن نقترب منه كثيراً كما نرغب؛ فالفيزياء الحالية تسمح لنا بالعودة بالزمن إلى الوراء حتى اللحظة التي ترتفع فيها درجة الحرارة إلى 10^{32} كلفن (100000 مليار مليار كلفن). فوق درجة الحرارة هذه، التي تمَّ بلوغها بعد حوالي 10^{-43}

ثانية من الانفجار العظيم (بحسب تأريخ خاطئ، يُطابق الزمن صفر مع درجة حرارة لامتناهية)، لا تعود النسبية العامة قابلةً للتطبيق. لذا تلزم "أداة نظرية" جديدة، غير أنَّ هذه الأداة، التي كانت معروفة مسبقاً باسم *الجاذبية الكميّة*، مازالت غير متوفرة. وحتى *يتِمُّ اختراعها*، ستبقى درجة الحرارة 10^{32} كلفن، حداً لمعارفنا عن *الكون الأوَّلي*.

لدى الفيزيائيين بعض الأفكار لكسر "جدار بلانك" (من اسم مؤسِّس الفيزياء الكمية)، المرتكز على المضاربة الأكثر حداثة للفيزياء بشكلٍ متناهي الصغر. من بين هذه الأفكار، تُعدُّ فكرة الـ"التضخُّم الفوضوي"، واحدة من أكثر الأفكار جاذبية من الناحية الفلسفية. هذه النظرية، التي طورها الفيزيائي الروسي "آندرييه ليند" خلال الثمانينيات، تعتبر الكونَ القابل للملاحظة جزءاً بالغ الصِّغر من "فقاعة" هائلة يبلغ حجمها 10^{3000} سنة ضوئية. ربما تتَّسع الفقاعة إلى أبعادها الهائلة خلال جزء بسيط من الثانية بعد لحظة "بلانك"، بحسب سيناريو "الكون التضخُّمي (المتضخِّم)" الذي طوره الأميركي "آلان جوث" سنة 1980. ووفق "ليند"، قد "تبزغ" الفقاعة من *تموُّجات الفراغ الكميّ، هذا الجوهر الـ" أثيري" الذي سيملأ الفضاء بأكمله، ويكشِف الخصائص الاستثنائية في الشروط القصوى المهيمنة في عصر* "بلانك". كذلك قد تكون فقاعات ـ أكوان أخرى *خرجت أيضاً* من تموُّجات هذا الجوهر بطريقةٍ فوضوية، إذ إنَّ لكلٍّ منها خصائصَ فيزيائيةً مختلفة: سيكون بعضها قد انهار سلفاً، معيداً مادته ـ *الطاقة إلى الفراغ الذي كان قد* "استعارها" منه؛ على حين أنَّ *أخرى ستستمر أيضاً* في توسُّعها وفق إيقاعها الخاص، خالقة *المكان ـ الزمان الخاص بها*، من دون أن *تتدخَّل أبداً بجاراتها*. استحالة الاحتكاك بين الأكوان ـ الفقاعات هذه تُقلِّل كثيراً من *الأهمية الفيزيائية لنظرية* "ليند"، على الرغم من جاذبيتها الفلسفية التي لا يُمكِن تجاهُلها.

قبل أن نتطرّق إلى تنبؤات علم الفلك الحديث حول تطوُّر الكون في المستقبل، لا بُدَّ أن نُركِّز على "مُفارَقة" أساسيّة، ماكانت ستفوتُ انتباه القارئ.

قصور حراري وجاذبية

كان القصور الحراري في حساء الكون الأولي، غير المُتميِّز والمتجانس في الظاهر، قريباً جدّاً من قيمته القصوى. وُلِد الكون ميْتاً على مستوى التحريك الحراري (الترموديناميكي)، لأنَّ الفروق الحرارية هي وحدها المؤهَّلة لخلقِ عملٍ مفيد. فكيفَ نُفسِّر ذلك على حين أنَّ بُنىً تظهر وسط البلازما الكونية ؟ بأية "معجزة" استطاعت الفروق في درجات الحرارة أن تنحفر بين النجوم وباقي الكون؟ وكيف استطاع القصور الحراري، القريب الآن من قيمته القصوى، أن يرتفع فيما بعد؟

الأجوبة على هذه الأسئلة بعيدةٌ عن أن تكون مفروغاً منها، لكنها مهمةٌ للغاية إن نحن أردنا أن نُدرِك مستقبل كوننا. إنَّ المفاهيم المُتضمَّنة مجرَّدة نسبياً، ممّا يجعل تتمة هذا الجزء أكثر صعوبةً من باقي أجزاء الكتاب. لكنَّ في وسعنا أن نُعلِن الجواب في الحال، وهو ينحصر في كلمة واحدة: الجاذبية.

سوف يسمحُ لنا المثال المعهود عن الحياة على الأرض بأن نتناول الموضوع بسهولة. فنحن نعلم أن الحياة غير ممكنة إلا بفضل الطاقة التي تُشعّها الشمس ويعترضها سطح الأرض. ومن البديهيّ أنَّ هذه الطاقة لا تخزِّنها الأرض، ولا الأجهزة العضوية الحية (وإلا لصارت ساخنة حتى درجة الاشتعال!) : فهي تُستخدَم ببساطة للحفاظ على تعقيد الكائن الحيّ في مستوى عالٍ (أو على قصوره الحراري في مستوى مُنخفض). تعود هذه الطاقة بمجرد استعمالها إلى الإشعاع من جديد على شكل حرارة، وفي هذه اللحظة ينتج الارتفاع الحتمي للقصور الحراري للمجموعة الشمسية. وفي الواقع فإنَّ للطاقة الشمسية التي تصل إلى الأرض قصوراً حرارياً ضعيفاً؛ إذ توجد على شكل فوتونات مرئية، ينطبق معدَّل طاقتها على درجة حرارة قدرها 5800 كلفن، هي التي تُميِّز سطح الشمس. عندما تغادر الأرض، التي لا تساوي درجة حرارتها إلا 300 كلفن، هذه الكمية نفسها من الطاقة توجد على شكل فوتونات تحت ـ حمراء، أقل شحناً

عشرين مرّة. هناك إذاً عشرون فوتوناً تُشعّها الأرض مقابل كلّ فوتون تتلقّاه من الشمس؛ وهذه الزيادة في عدد الجزيئات تزيد من الفوضى والقصور الحراري لمنظومة الأرض ـ الشمس ـ الفضاء. ولِكون الأرض آلة حرارية، فهي تُحوِّل طاقة ذات قصور حراري ضعيف إلى طاقة ذات قصور حراري عالٍ يصعُب استعماله لاحقاً.

لماذا تكوِّن الشمس مصدرَ قصورٍ حراري ضعيف؟ بكلٍ بساطة، لأنها أكثر حرارة من محيطها. وهي أكثر حرارة لأن جاذبيتها أجبرت غاز السحابة الشمسيّة الأولى المبعثر على التقلُّص، وزادت درجة حرارته، وفقاً لإحدى خواص الغاز المعروفة. وهكذا نصلُ إلى إثباتٍ جوهري، يُناقض معارفنا الفيزيائية في القرن التاسع عشر، كما يُناقض حدْسنا. فعندما نجهل الجاذبية، تكون حال القصور الحراري القصوى للغاز مُشتّتة ومتساوية الحرارة (إيزوتيرم): يجنح الغاز إلى أن يشغل كامل الحجم المتوفّر، وأن تكون درجة حرارته هي نفسها في كل مكان. وعندما نأخذ الجاذبية بعين الاعتبار، يتغيَّر الوضع: فيصبح القصور الحراري للغاز المنتشر ضعيفاً، ويمكن أن يزداد أيضاً بواسطة أشكال التكاثف المحلي التي تولِّد التفاوت في درجات الحرارة.

وهكذا نتمكّن، إذا اعتبرنا المادة ومجالها التجاذبي، أن نفهم لماذا استطاعَ الكون إعادة بناء نفسه: فمن وجهة نظر تجاذبية، كان للحال البدئية للغاز المتشتِّت قصور حراري ضعيف جداً، وكان يمكن أن يرتفع أيضاً. بالتأكيد، كان الغاز طيلة العصر المُشِعّ أسخنَ من أن يتكثّف: إذ "تتعارض الإثارة الحرارية لمكوِّناته تعارُضاً شديداً مع هيمنة الجاذبية. لكنَّ التوسُّع الشامل "هدّأ" هذا الاهتياج بواسطة التبريد الذي ولَّده. وهكذا انتهت الجاذبية إلى السيطرة على الأمور، وإلى خلق بنى تسمح، موضعياً، بتحدِّي القانون الثاني للتحريك الحراري (بعض النجوم، وبعض الكواكب، والحياة). هذه الصورة، شديدة التبسيط لبروز التعقيد، تسمح لنا بحلِّ "المفارقة" المذكورة في بداية هذا القسم، أعني، كيف

استطاع الكون أن يتطوَّر على حين أنَّه كان، منذ ولادته، "ميتاً" من ناحية التحريك الحراري. (الناحية الترموديناميكيّة).

وقد ثبتَ، من جهةٍ أخرى، أن تمدُّد الكون يُتيح للقصور الحراري أن يرتفع دوماً، من دون أن يبلغ على الإطلاق قيمته القصوى: وبالفعل، مع مرور الزمن، تتزايد قيمة القصور الحراري القصوى لكونٍ في حالة توسُّع، لأنه كلما كان حجم النظام كبيراً، كان الاختلال الأقصى الممكن مرتفعاً (لإيضاح ظاهرة السِّعة هذه، يمكن أن نتصوَّر مكتبتنا في حال فوضى تامة، وعدد الكتب المنتشرة في أربع زوايا قصر برسي للألعاب الرياضية؛ في الحال الثانية، تكون الفوضى أكبر، حيث تُقاس على سبيل المثال بالوقت اللازم لإعادة ترتيب الكتب). بغية أن نُدرك لماذا لا يمكن للقصور الحراري لكون في حالة توسُّع أن يبلغ القيمة القصوى، ننكر أحياناً مثال الحوض ذي الجدران المتحرِّكة، الذي نحاول أن نملأه بالماء: يمكن لكمية الماء في الحوض أن تزيد بشكلٍ مستمر، من دون أن يفيض الماء إطلاقاً. وربما تنطبق حال الكون الساكن في القرن التاسع عشر على حوض بجدران ثابتة، سيفيض حتماً، عاجلاً أم آجلاً. وهكذا يُحِقُّ عالم الفلك النسبي الحديث، "بيير دوهيم"، الذي كان يعترض على "الموت الحراري" للكون، مثلما رأينا في أحد الأقسام السابقة.

هذه المفاهيم، التي طُوِّر أغلبُها في النصف الثاني من القرن الماضي، تُعدُّ غريبة على الفكر الآلي للقرن السابق. وقد تتمكَّن من حضِّنا على شيءٍ من التفاؤل فيما يتعلَّق بالمستقبل البعيد للحياة في الكون، لأنها تبدو أنها أقصت "الموت الحراري" إلى الماضي. إنه، من جُملة آراء أُخرى، رأي "هيوبرت ريفيز"، الذي أعربَ عنه بقناعة في كتابه وقتُ الثمالة، وفيه يعرِض دور الجاذبية والقصور الحراري في ظهور التعقيد الكوني، عرضاً شديد الوضوح.

ومع ذلك، يتَّضح أنَّ الموت يمكن أن يكون حاضراً، في آنٍ واحد، في الماضي وفي المستقبل، بأشكالٍ لا يشكُّ فيها فيزيائيُّو القرن التاسع عشر. ومن

المحتمل إلى حدٍّ كبير أن هذا التعقيد الرائع الذي يحيط بنا ليس إلا حالاً مؤجَّلة، جليلة، لكنَّها محكوم عليها أن تختفي على المدى البعيد...

جانب المادة، العاتِم

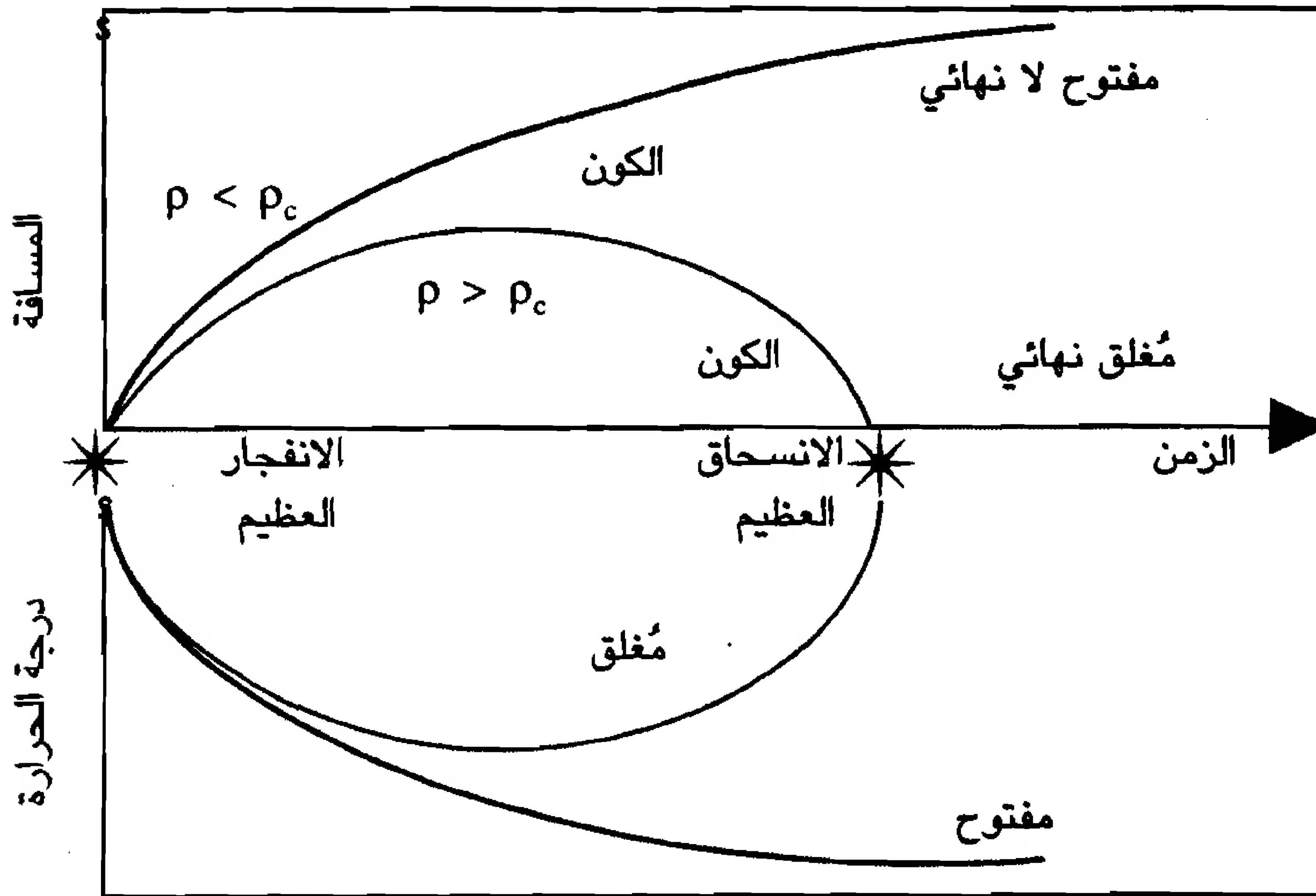
يُحجَب "أصل" الكون، في الوقت الحاضر، عن علم الفلك النسبوي؛ وبالمقابل، فإن بلوغ مستقبله أكثر سهولة عليه. يعتمد ذلك على نتيجة الصراع بين زخم الانفجار الأوَّلي وعمل الجاذبية كليِّ الوجود، الذي ينزع إلى إبطاء التوسُّع الشامل. فلمّا كانت كثافة الجاذبية تتناسُب طرداً مع الكتلة المتضمَّنة، نُدرك أن مصير الكون يعتمد على كتلته، أو بالأحرى على معدَّل كثافته (الكتلة بوحدة الحجم). يُبيِّن لنا حلُّ المعادلات الكونية حالين ممكنتين.

ـ إذا كانت كثافة الكون أقل من (أو تساوي) كثافة معينة حرجة، فإن التوسُّع سوف يستمرّ إلى الأبد؛ لأنَّ الجاذبية أضعف من أن تستطيع إيقافه؛ وحينئذٍ يكون الكون مفتوحاً، وغير مُنتهٍ في المكان وفي الزمان.

ـ إذا كانت كثافة الكون تفوق قيمته الحرِجة، فسوف يتوقَّف التوسُّع ذات يوم لينقلب إلى تقلُّصٍ (انكماش) تتعاظم سرعته باتجاه حالة مُماثلة لحال الانفجار العظيم؛ وحينئذٍ يكون الكون مُغلقاً، ومنتهياً مكانياً وزمانياً.

كذلك يعطينا حلّ المعادلات الفلكية قيمة الكثافة الحرِجة، التي تعتمد على الزمن. إذ تبلغ اليوم، بعد حوالي 15-20 مليار سنة من "بداية" التوسُّع، 10^{-29} غرام في السنتيمتر المكعَّب تقريباً، أيّ ما يعادل بروتونات في مكعب ضلعه متر. لكن كم تساوي كثافة الكون؟ تمَ تَقدير كثافة المادة التي نستطيع ملاحظتها مباشرةً على شكلٍ ضوئي، وعلى الأخصّ في المجرَّات، بأقلّ من جزء من المئة من القيمة الحرجة. إذاً قد يبدو الكون مفتوحاً بعاملٍ هامّ من مئة، غير أنَّ الوضع ليس بهذه البساطة. ففي الواقع، تجعلنا سلسلة من المؤشرات الجدّية نعتقد أن

الجزء الأعظم من كتلة الكون تفوت مراقبتنا دوماً. هذه الفكرة ليست بالحديثة، لكنها أصبحت، خلال العقد الأخير، واحدة من موضوعات البحث الرئيسية في الفيزياء الفلكية.



الشكل 4-2. مستقبل الكون، بحسب علم الكون الحديث، يعتمد على كثافته. إذا كانت هذه الكثافة تفوق قيمة حرجة معينة (P_c)، فسوف يتوقف التمدد ليتحول إلى تقلُّص (انكماش)، حتى الوصول إلى حالة حارة جداً وكثيفة (الانسحاق العظيم. بالانكليزية: Big Cruch)؛ وفي الحالة المعاكسة، سوف يستمِرّ التوسُّع والبرودة المُتلازمان إلى الأبد.

تُعدُّ كوكبة مَجَرّات كوما، الواقعة على مسافة 300 مليون سنة ضوئية تقريباً، مُجمَّعاً لعدّة آلاف المجرّات. وقد لاحظَ الفلكي السويسري "فريتز زفكي" سنة 1933، أن مجرّات هذه الكوكبة تحرِّكها سرعات كبيرة، تُقدّر بحوالي عدة مئات الكيلومترات في الثانية. ومع سرعات كهذه، كان يمكن للمجرّات أن تفلت من جاذبية الكوكبة. واستنتج "زفكي" أنَّ تلاحم كوما لا يمكن أن يُفَسَّر إلا بوجود

أعداد كبيرة من الأجرام غير المرئية. كان هذا هو المؤشِّر الأول على وجود مواد قاتمة بوفرة على المستوى خارج الكوني، لكنَّ علماء الفلك أهملوه فترة طويلة. وقد أكّدتْ ملاحظات لاحقة صحّة هذا الاستنتاج قياساً إلى الجزء الأكبر من كوكبة المجرّات.

على المستوى الأكبر، نصادف كوكبة المجرّات، العظمى، أكبر التجمعات الضخمة لأجسام الكون، وهي تتكوّن من عدة كوكبات، ومجموعات من المجرّات. توجد مجموعتنا المحلية، المتكونة من عشرين فرداً تقريباً، على طرف الكوكبة العظمى المحلية، وتشغل مركزَها كوكبةُ العذراء على مسافة 50 مليون سنة ضوئية. وقد لاحظَ الفلكيّون، خلال الثمانينيات، أنَّ حركات الكوكبة العظمى المحليّة، وكذلك حركات الكوكبتين العُظميين المجاورتين هيدرا وسنتورا، ليست مطابقة تماماً لحركة توسُّع الكون الشاملة، لكن يبدو أنها "اضطربت" بفعل جسمٍ ما ضخم جداً. قد يوجد هذا التجمع من الكتل، الذي يُقدَّر حجمه بثلاثين ضعف حجم الكوكبة العظمى، "مُتوارياً" خلف كوكبة العذراء، على مسافة 150 مليون سنة ضوئية؛ وقد سمَّى الفلكيون ذلك بـ" الجاذب الكبير".

يَظهرُ وجود المواد القاتمة أيضاً على مستوى المجرّات الفردية. فمنذ السبعينيات، أدركَ الفلكيون أن المجرّات الحلزونية تدور حول نفسها بأسرع مما تسمح لها كتلتها الضوئية نفسها. لا بُدَّ إذاً من وجود كثير من المواد غير المرئية لضمان تلاحمها، وإلا لكانت المناطق الخارجية من هذه المجرّات قُذِفَت في الفضاء منذ زمن طويل بواسطة القوى النابذة. ومجرّتنا درب التبانة لا تخرج عن هذا التأكيد.

ثمّة مؤشرات واضحة إذاً على المستويات كافةً، بدءاً من تلك الخاصة بمجرّة فردية، حتى تلك المتعلقة بالكوكبة العظمى، ومروراً بمجموعات وكوكبات المجرّات، تؤكّد وجود المواد القاتمة. حتى إنَّ الفلكيين لاحظوا أن المستوى كلما كان كبيراً، كانت العلاقة بين المواد القاتمة والمواد الضوئية عالية. أمّا على

مستوى المجرّات الحلزونية، فإن معدّل هذه العلاقة بحدود 10 ويمكن أن يرتفع إلى 30 في مستوى مجموعات المجرّات وكوكباتها، لتلامس المئة في المستويات الأكبر المستكشَفة حتى الآن. ولمّا كانت كثافة المادة الضوئية تمثل نسبة 1% تقريباً من الكثافة الحرجة، نرى أن المادة القاتمة قد تتمكّن من "غلق" الكون إذا كانت كثافتها مرتفعة إلى الحدّ الذي توحي به الملاحظات على أعلى المستويات. ومن سوء الحظ، الشكوك في هذه الدرجات كبيرة إلى درجة أنَّ أية نتيجة لا يُمكن أن تُستخلَص في الوقت الحاضر. وفي الواقع فإنَّ مجموع الأرصاد المتوفرة حالياً توحي بأنّ كثافة الكون (كثافة المادة المرئية، وغير المرئية) لا تتعدّى في الأحوال كافّةً نصف الكثافة الحرجة.

خارج إطار الملاحظات، تسمحُ لنا حُجّتان نظريّتان (الأولى موثوقة بالأحرى، والثانية أقل منها بكثير) أن نسبرِ كثافة المادة في الكون. فبحسب سيناريو التوليف النووي الأوّلي، تعتمد غزارات النوى (الأنوية) الخفيفة الناتجة في بداية الكون على كثافة المادة العادية، لأنها هي التي تحدِّد سرعة التفاعلات النووية. وإذا قسنا غزارات هذه المواد الخفيفة (الهليوم، والدوتريوم، والليثيوم) في أقدم النجوم والمَجرّات، يُمكننا، من حيث المبدأ، أن نُحدِّد هذه الكثافة. وهكذا نجد أنَّ كثافة المادة العادية لا يمكن في أية حال أن تتجاوز نسبة من القيمة الحرجة. تُبيِّن لنا هذه الحجة، الموثوقة على الأرجح، أن المادة المعتادة (النوى (الأنوية) الذرية التي تكونت منها النجوم، والكواكب، والمجرّات، إلخ). لا تكفي لكي تقلب التوسُّع الشامل.

تستند الحجة الثانية على نموذج تضخُّم الكون، الذي ذكرناه باختصار في أحد الأقسام السابقة. يستخدم هذا النموذج مكتسبات الفيزياء الدقيقة الحديثة لتفسير بعض خصائص الكون التي يُمكن ملاحظتها، والتي لا تجد تفسيراً ضمن إطار النموذج الموحّد للانفجار العظيم. فعلى الرغم من بعض المميزات الجذّابة لنموذج تضخُّم الكون، لم يعُد له أيُّ سند قائم على المُراقبة في الوقت الحاضر.

تكهُّنه الوحيد القاطع، الذي يُمكن تدقيقه ذات يوم، هو أنَّ الكثافة الكونية ينبغي أن تكون مساوية بالضبط للقيمة الحرجة؛ وفي هذه الحال، سوف يستمر الكون المُغلق "هامشياً" (أو المفتوح)، في تضخمه إلى ما لا نهاية. وإذا أخذنا بعين الاعتبار حجج التوليف النووي الأوّلي التي لا تسمح لكثافة المادة الاعتيادية بأن تتعدّى نسبة 10% من الكثافة الحرجة، وجب استنتاج أن 90% من كتلة الكون توجد على شكل "غريب جداً". فنظريات الفيزياء الدقيقة تُقدِّم لنا وفرةً من المرشَّحين، جزيئات بأسماء غريبة : آكسيونس، وفوتينوس، وغرافيتنوس، إلخ. ونظراً إلى أنَّ هذه الجزيئات أُنتجَت بعدد كبير في بداية الكون، فيجب ألا تكون قد أثَّرت في التركيب النووي الأوَّلي، وربَما تُهيمن اليوم بوزنها الجماعي على ديناميّة الكون. واليوم ليس ثمّة أيُّ دليل قائم على المراقبة يسمح بتأكيد وجودها. ومع ذلك، فإنَّ غياب البداهة لا يُشكِّل بداهة الغياب. ولا بُدَّ إذاً، توخِّياً للكمال، من أن نستبصِر المستقبل البعيد للكون في حالَيه الممكنتين كلتيهما، مغلقاً ومفتوحاً.

حتى الانهيار النهائي

مستقبل الكون المُغلق مُحدَّد بدقّة، لكنَّ ديمومته غامضة جداً لأنها تعتمد على قيمة كثافته. فإذا تجاوزت كثافته نسبة 10% من الكثافة الحرجة، فسوف يتواصل التوسُّع لمدة 350 مليار سنة تقريباً، وهي مدة تفوقُ عشرين مرة العمر الحالي للكون. في هذه الفترة، سوف تبقى على قيد الحياة فقط النجوم التي تقل كتلتُها عن ربع كتلة الشمس؛ لأن بريقها الأحمر الضعيف سوف يضيء بالكاد المجرَّات المُشرِفة على الموت. وسوف تهبطُ درجة حرارة الإشعاع الكوني إلى 0.3 كلفن، بينما سوف توجد المجرَّات، التي يجذبها التوسُّع الشامل، على مسافات تفوق عشر مرات المسافات الحالية. وسوف تكون هذه الأعداد بالتأكيد هائلة أكثر إذا لم تتعدَّ الكثافة إلا نسبة 1% من الكثافة الحرجة : وفي هذه الحال، سوف يتوقف التوسُّع بعد 20000 مليار سنة، في كونٍ مظلمٍ تماماً، حيثُ لن

يكون أيٌّ نجمٍ قد نجا (على الأرجح، باستثناء النجوم الاصطناعية التي خُلقت لاحتياجات الحضارات إلى الطاقة، من النموذجين II وIII).

لن تكون هناك أيّة علامة تدلُّ على النجوم الناجية في تلك الفترة (على افتراض أنَّ ثمّة علامة!) على أن أقصى التوسُّع سوف يتحقّق. لكنَّ مراقبة المجرّات البعيدة سوف تتيح لها الإدراك التدريجيّ بأنَّ تغييراً كبيراً قد وقع للتَوّ. وفي الواقع، يصلنا إشعاع المجرّات الهاربة، خلال كامل فترة التوسُّع هذه، بأطوال موجة أكثر "تمدُّداً" ممّا إذا كانت المجرّات ساكنة. هذا الميَلان نحو الأحمر (لأن الأحمر يمتلك أكبر أطوال موجات في الطيف المرئي)، سمح لمقراب هابل *أن يكشف تماماً هروب المجرّات سنة 1929*. وحين يبدأ طور *التقلُّص*، تبدأ *المجرّات بالتقارب*، ويصلنا ضوؤها *بأطوال موجة أقصر. هذا الميلان إلى الأزرق (الأزرق يتطابق مع الأطوال القصيرة للموجة، في الطيف المرئي)*، سوف يُميِّز في مرحلة *أولى المجرّات الأقرب فقط*، ثم مجرّات أبعد فأكثر بُعداً.

سوف يكون طور تقلُّص الكون متناظراً مع طور التوسُّع، في فترة زمنية متساوية عملياً. أولاً، سوف يتقلّص الكون "ببطء"، من دون أحداثٍ كبيرة، حيث ترتفع درجات حرارة الإشعاع الكوني ببطء وكذلك طاقة الفوتونات. وشيئاً فشيئاً، سوف يتأثّر "غاز" المجرّات المُخفَّف إلى حدٍّ أقصى بآثار التقلُّص أيضاً: تكتسب ماهيّاته الجوهرية حركة من الهيجان المتزايد كثافةً، على غرار ذرّات غاز نقوم بضغطها.

تَشغل كوكبات المجرّات حالياً نسبة 1% من حجم الكون. عندما يتقلّص هذا الحجم بمُعامل مئة، سوف تندمج مع جاراتها، وتتوقّف عن الوجود بوصفها تكوينات متميزة. في هذه الفترة، التي تسبق بمليار سنة نهاية التقلُّص، سوف تبقى درجة حرارة الإشعاع الكوني في مستوى منخفض نسبياً، بحدود 30 كلفن تقريباًوسوف تضطرب المجرّات، المستقلّة من الآن وصاعداً، بسرعةٍ 500 حوالي كيلومتر/ثانية، مشاركةً في الوقت نفسه في الانكماش الكلّي للكون.

التطوُّر المستقبلي لكون مُغلق			
درجة الحرارة المُطلقة	الأحداث	قبل الانفجار	بعد الانفجار
3	• اليوم	قبل 39975 م/س	15 مليار سنة
0,03	• الدرجة القصوى للتوسُّع • ميلان الإرسال المجرّاتي إلى الأزرق	قبل 20000 م/س	20000 مليار سنة
30	• انمباج حشود المجرّات	قبل 1 مليار	39999 مليار سنة
300	• انمباج المجرّات • فضاء حار مثلما هو حالياً	قبل 70 مليون سنة	
3000	• تفكُّك الذرّات • كون أحمر وقاتم ذو فوتونات	قبل 600 ألف سنة	
10^6	• تدمير النجوم والكواكب بالتفجيرات النوويّة • انمباج الثقوب السوداء	قبل 3 أسابيع	
10^9	• تفكك النُّوى الذرّية إلى بروتونات ونيوترونات	قبل دقيقتين	
؟	• (؟) الانسحاق العظيم		40000 مليار سنة

الشكل 4-3. أحداث رئيسية في تطور مستقبل الكون المغلق. درجات الزمن تتطابق مع كثافة كونية تفوق الكثافة الحرجة بنسبة 1%. (مقتبسة من: ن. برانتزوس، سماء وفضاء، 1987).

وسوف يستمر الانهيار: بعد 900 مليون سنة، بينما تتقلص أبعاد الكون بمعامل مئة (إذاً يتقلَّص حجمه مليون مرة قياساً إلى الحاضر)، تخضع المجرّات لمصير الكوكبات: سوف تندمج، وحينئذٍ، تشكِّل نجومُها، المزوّدة بسرعات اضطراب مقدارها 3000 كيلومتر/ثانية، "الذرات" الجديدة للغاز الكوني. ودرجة حرارة الإشعاع الكوني التي ستكون قد بلغت 300 كلفن، تفوق تلك الموجودة على سطح كوكبنا حالياً، ولن يصبح الفضاء شديد البرودة: قد يتمكَّن أحفادنا البعيدون أن يتنقَّلوا فيه من دون الحاجة إلى حماية البزّات الحرارية. ومع ذلك،

سيجدون أنَّ صعوبة طرد القصور الحراري الذي يُنتِجه التحوُّل الغذائي (الاستقلاب) في أجسامهم تتعاظم باطِّراد. وربما يصبح الفضاء المصدر الحراري الأكبر، الذي يخنق على مدىً معين أيَّ شَكلٍ من أشكال الحياة (على الأقل الأشكال التي نعرفها اليوم). ولهذا لا ينبغي أن نتخيَّل أنَّ الفضاء سوف يكون أقل سواداً من الحاضر (في عيون تُماثِل عيوننا على كلّ حال)، لأن التردد المميَّز لفوتونات الإشعاع الكوني سوف توجد أيضاً في الجزء تحت الأحمر من الطَّيف المرئي.

لكن الوضع سوف يتطور تدريجياً: فبعد 70 مليون سنة، سوف يكون حجم الكون ألف مرة أصغر من اليوم، وسرعة اضطراب "غاز" النجوم سوف تكون قريبة من سرعة الضوء. سوف يكون الفضاء من الآن وصاعداً ساخناً سخونةً لا تُحتمَل، حيث إنَّ درجة حرارة الإشعاع الكوني ستكون قد وصلت إلى كلفن، مساويةً لتلك التي تسود على سطح النجوم. سوف يبدأ الفضاء، الأسود حتى الآن، بالاحمرار على غرار قطعة من الحديد نقوم بتسخينها. حينئذٍ سوف تكون طاقة كلّ فوتون من فوتونات الإشعاع الكوني عاليةً بما يكفي لكي يسمح لها بـ "كسْر" الذرات، وذلك بتحطيم الروابط الكهرمغناطيسية بين الألكترونات، والنُّوى الذرّية. وهكذا سوف تبدأ ذرَّات الأغلفة الجويّة الكوكبية، والنجمية، والمحيط بين النجمي بالانفصال، التي تحرِّر مواكبها من الألكترونات. ومع عودة ارتفاع الحرارة أيضاً، سوف يبدأ الإشعاع الكوني بإذابة سطوح النجوم وضغطها، مُغيِّراً بنيتها الداخلية، بينما يتحول لون الفضاء من الأحمر إلى الأصفر، فالأبيض، فالأزرق، إلخ.، ويصبح لامعاً أكثر فأكثر.

وسوف يتسارع التطور. وبعد مليون سنة، سوف تصل الحرارة إلى 10 ملايين درجة، مُساويةً تلك التي تسود في قلب النجوم. وفي جحيم من الانفجارات النووية، سوف تذوب النجوم والكواكب وتتحوّل إلى صُهارة فوضوية من الذرّات، والألكترونات، والفوتونات. وإذ تتغذّى الثقوب السوداء، أطلال التطوُّر

السابق للنجوم الضخمة، من هذه المادة، سوف تكبر، وتندمج فيما بينها لكي تلتهم جزءاً مُتزايدَ الاتِّساع من الكون.

سوف ترتفع درجة الحرارة بعد ثلاثة أسابيع إلى درجة 2 مليار كلفن، وتحصل فوتونات الإشعاع الكوني على ما يكفي من الطاقة لكي تكسرِ كل أشكال الترابط النووي بين النيوترونات، وبروتونات النوى الذرية. حينئذٍ يدخل الكون، خلال عِدّة دقائق، في عصرٍ معادل لذلك الذي سبقَ التوليف النووي الأوّلي.

من الصعب عدم ملاحظة التشابه الفائق بين صور الفقرات السابقة، التي قدّمها علم الفلك الحديث، مع مقطع من "أوريكا"، العمل الأدبي المشهور للكاتب الأميركي" إدغار آلان بُو" في شباط/فبراير من سنة 1848، ذلك أنَّ "بو"، الذي أبدى على الدوام اهتماماً كبيراً بالعلوم الفيزيائية، ألقى مُحاضرة في نيويورك عن "نشأة الكون". وقد نُشِر نصُّ المحاضرة الذي عرَّفه مؤلِّفه بأنَّه "بحثٌ في *الكون المادي والروحي، في حقيقته، وأصله، وشرطه الحاضر، ومصيره*"، في أوريكا، في السنة نفسها. يخلق "بُو"، *في هذا النصّ، بالاستناد إلى* معارف عصره المتواضعة *في علم الفلك، علمَ فلكِه الخاصّ الذي يأمل بأن* "... يفجِّر ثورة، بعد حين، في عالَم العلوم الفيزيائية، وعلوم ما وراء الطبيعة...". لكنّه لن يصل إلى هذا الهدف الطموح لأنَّ عِلمَه، في رأي الفلكي الفيزيائي الأميركي "أدوارد هاريسون "... كان ميتافيزيقياً بإفراط، وكانت ميتافيزيقيّته علميّة بإفراط في رأي مُعاصريه". ومع ذلك، فقد تصوَّر "بُو" لأول مرة كوناً حيوياً، في حالٍ من التطوُّر الشامل، وهذا ما لم يستطع آينشتاين تَصوُّره بعد ثلاثة أرباع القرن! يتطور كون "بو" بفعل قوتين متعاكستين: الدفع، الذي يفرقع وحدة الجزيئات الأوّلية، والشدّ الجذبي على طريقة نيوتن، الذي ينزع إلى إعادة بناء هذه الوحدة. تمَ عرض هذه الأفكار، التي توجد جزئيّاً عند فلاسفة ما قبل أرسطو، في اوريكا بأسلوب فتّان، هو مزيج استثنائيّ من النثر والشعر. ها كم المقطع المشار إليه أعلاه:

"... وستكون نتيجة هذه السرعة الفائقة تجمُّع عدد لا يحصى من نجوم سماء اليوم الموجودة بعدد لامُتناهي الصِّغر في طبقاتٍ لامُتناهية الكِبَر. وهكذا، سوف تبرُق، وسط اللُجج الهائلة، شموسٌ بومضٍ يفوق الخيال. لكنَّ هذا كلَّه لن يكون إلا مرحلة انتقالية، نذيراً بالنهاية الكبرى التي لن تتأخّر إلا للَحظاتٍ. لأنَّ كوكبات النجوم، وهي تتكثّف، سوف تتسارع نحو المركز المشترك بسرعةٍ تتعاظم باستمرار... والآن، مع سرعة تساوي عظَمتها الماديّة، وشغفها الروحي للتوحُّد، وتلمعُ باقيات قبائل النجوم المهيبة في حضنها المشترك. كانت الكارثة التي لا مَفَرَّ منها قد حلَّت تَوّاً ..."

هل هذا حدس؟ أم نذير؟ من الصعب تقويم هذا المقطع التنبؤي تقويماً آخر، ولا سيّما حين نعلم أن فريدمان لم يحصل على حلّ المعادلات الفلكية إلا في عام 1922، وأن *الفيزيائيِّين الإنكليزيِّين "ميلن" و "ماك كريا"* تمكّنا، بعدَ اثنتي عشرة سنة لاحقة فقط، من بيان وجود حلٍّ مشابه (مع أنَّه تقريبي) *في إطار الفيزياء النيوتونية*، الوحيدة *التي* كان من المفروض أن يعرفها "بُو"...

إوزّة عِراقيّة أم طائرالفينيق ؟

بحسب كل الاحتمالات، سيُشبه مظهر الكون، خلال الدقائق الأخيرة التي تسبق "سحقه" المفترَض (الانسحاق العظيم. في اللغة الإنكليزية *Big Crunch*) مظهر الكون في بدايته *إلى حدٍّ* الالتباس. ستدور *أحداث* الفيلم بالعكس، حكايتنا تتوقف عندما تكون *الحرارة* قد بلغت 10^{32} كلفن، لأنَّ ما بعد "حد بلانك" هذا، تغدو *أيَّة* محاولة وصف قائمة على *الفيزياء الحالية*، مستحيلة.

ومن المؤسف أن "بو" لم يتوقع مستقبل النوع البشري في أتون كونه المُنهار. أمَّا "فريمان دايسون" فيرى أنَّ "... ثمّةَ كآبة عميقة في صورة كونٍ مُنتهٍ، استُهلِكت قوّة الحياة فيه، وانتهت *أيّامه المؤثّرة*، يعد *الساعات التي* بقيت له قبل أن يمضي *إلى* الموت؛ ماذا سوف يغنّي شعراؤنا، البشر أو الفضائيُّون، وهم يُشاهدون النجوم لا تني تتقارب بسرعةٍ مُتعاظمة في سماءٍ تتفجّر من الداخل ؟..."

ونحن، إذ نحزِر الجواب على سؤال "دايسون"، نستطيع أن نؤكد اليوم أنَّ المادّة، خلال المليون الأخير من السنوات التي سبقت الانسحاق العظيم، سوف تعود إلى حال التوازن الترموديناميكي التي كانت ماتزال موجودةً فيها خلال المليون الأول من السنوات بعد الانفجار العظيم. في هذه المرة، ستكون انتروبيا الجاذبية أكثر ارتفاعاً بكثير مما كان عليه لحظة الانفجار العظيم، نظراً لأنَّ غالبية المادة كانت موجودة على شكل مكثف، تبتلعه الثقوب السوداء... لأول مرة في تاريخه سيكون الكون قد بلغ أقصى درجة ممكنة من القصور الحراري. وهكذا فإنّ "الموت الحراري" سيوجد بالتأكيد في مستقبل الكون المغلق، لكن على شكل مختلف جداً عن ذاك الذي توقّعته فيزياء القرن التاسع عشر. فبعيداً عن أن يكون الكون "جامداً"، سوف تكون درجة حرارته مرتفعة للغاية؛ ولسوء الحظ، ستكون هذه الدرجة متّسقة بصورة مُطلقة، ومن دون أيّ تفاوت محلي، ممّا يجعل تدفُّق الطاقة مُستحيلاً.

لا يبدو إذاً أنَّ هناك أيَّ أمل بالحياة في كون مغلق على المدى البعيد. حتى إنَّ شخصاً مثل "دايسون" يعترف، في مرحلة أولى، بعجزه قائلاً: "... حتى إذا حفرنا الأرض للإفلات من الهياج المتزايد للإشعاع الكوني، فإننا لا نعمل إلا على تأجيل نهايتنا المأساوية بضعة ملايين السنين...". لكن يظهر في النهاية أن تفاؤله أقوى، وأنَّ ثقته بقدرات النوع البشري تكاد تكون لامتناهِية؛ وهكذا يتصوَّر أننا "إذ نحوِّل المادة إلى طاقة، ونبعث هذه الطاقة في نسيج المكان ـ الزمان، فسنتمكَّن من أن نثقب كوناً مغلقاً، حيث ينهار منه جزء فقط، بينما يستمر الآخر في توسُّعه إلى الأبد...". إنَّ من الصعب في الوقت الحاضر أن نعرف إذا كان هناك حلٌّ كهذا، حتى من الناحية النظرية. وفي الواقع، يبدو أنَّ هذا غير ممكن، في إطار النسبية العامة؛ غير أنَّ أخذ المؤثِّرات الكميّة في الحسبان قد يغير الموقف. ومع ذلك، نستطيعُ أن نبدي الإعجاب بجرأة الاقتراح، لأنَّنا من الصعب أن نتصوَّر مشروعاً هندسياً أعظم من هذا على المستوى الكوني.

إذاً هل ستكون هذه أغنية بجعة الكون؟ أو هل من الممكن أن ينبعث الكون، كطائر الفينيق الأسطوري، من رماده لكي يباشر دورةً جديدة من التوسُّع؟ من الواضح أن احتمال وجود كونٍ "متذبذب"، يشهد سلسلة أوَّلية من دورات التوسُّع والانكماش جذاب للغاية على الصعيد الفلسفي، كما رأينا في بداية هذا الفصل. ومع هذا، ينبغي أن نلاحظ أن منظور العَود الأبدي هذا لا يُناسب بالضرورة أذواق الناس جميعاً. وهكذا يُدوِّن "آرثر إدينغتون"، سنة 1928، في كتابه *طبيعة العالم المادي*:

"أنا لا أعبُد طائر الفينيق... لكنّي سأشعر، وأنا أعلم أن الكون، بعد إكماله مساراً عظيماً من التطوُّر، سيعود إلى الفوضى الأبدية، أنني أفضل من أن أعرف أنَّ التكرار المُستمِرّ جعل هذا الهدف عادياً. أنا على مذهب التطوُّر، لا على مذهب تكاثُر العوالِم ... إذ يبدو أن من الحماقة تكرار الشيء نفسه باستمرار..."

تعود الترجمة الكونية الحديثة للعَود الأبدي إلى أعمال "ألكسندر فريدمان" سنة 1922 حيث بيَّن أن نصف قطر الكون ينعدِم في بداية كل دورة ونهايتها، مما يجعل الاستمرار الفيزيائي مستحيلاً؛ وبعبارةٍ أخرى، يتعلق الأمر، على الأرجح، بـأكوانٍ منفصلة، من دون أية إمكانية اتِّصال فيما بينها. وبعد عشر سنوات، يوحي الفيزيائي الأميركي "ريشارد تولمان"، بأنَّ من المُمكن تحاشي "تفرُّد" نصف القطر المعدوم هذا، في نموذج واقعي؛ حيث يصل الانكماش فقط إلى نصف قطر أدنى، ثمَ يتحول إلى توسُّع للكون نفسه. وقد لاحظَ "تولمان" وجوب أن "ترِثَ" الدورةُ اللاحقة القصورَ الحراري، نظراً لأنّه لا يُمكن تحطيمة لحظة الانتقال. والنتيجة المنطقية هي أن دورتنا لم تستطع أن تكون مسبوقة إلا بعدد مُنتهٍ من الدورات، حوالي مئة على الأكثر، وإلا لكان القصور الحراري الحالي أكبر بكثير.

تمَ قبول فكرة "تولمان" خلال فترة طويلة، حتى لو لم تعمل إلا على تغيير مكان مشكلة أصل الكون، تاركةً مسألة ظهور أول دورة بلا جواب. وعلى الرغم من ذلك، لم تكن أُسسها صلبةً جداً كما أظهرها، في الستينيات، الفيزيائيان

الإنكليزيان "ستيفن هوكينغ" و"روجر بنروز". تشترط النظرية التي تحمل اسمهيما أنَّ من غير الممكن، في إطار النسبية العامة، تفادي التفرُّد، في ماضي الكون، كما في مُستقبله. يبدو إذاً أنَّ الفيزياء التقليدية تعطي الحق لـ"فريدمان"، الذي لايسمح بانبعاث الكون. لكن، لم يُفقَد الأمل كلُّه بعد بفرضية "تولمان"، لأنَّ الجذب الكمِّي يمكن أن يمنح إمكانية التخلُّص من التفرُّد الأوَّلي والنهائي. ويبدو حتى إمكان وجود حلول لمشكلة الازدياد المُطَّرد للقصور الحراري من دورة إلى أخرى: فبحسب اقتراح حديث، يمكن أن تبتلع الثقوب السوداء القسم الأكبر من القصور الحراري قبل أن يبلغ الانهيار حدَّه الأقصى، وهكذا ستبدأ الدورة الجديدة بقصور حراري مُنخفِض ...

من بين مؤلِّفي الخيال العلمي الحديث، تجرَّأ واحد على الأقل على مجابهة مستقبل الحياة في كونٍ مغلق. إذ يستبصر "جورج زيمبروسكي" في كتابه *"الحياة الكلية"، الذي نُشِر سنة 1980، مستقبل البشرية على المدى الطويل جداً، ثمَ مستقبل الحضارة المجرّاتية، وأخيراً مستقبل hلذكاء الكوني، في كونٍ محكوم عليه بالانهيار على نفسه. ليس لنثره قوة الخيال التي يمتلكها نثر "اولاف ستابلدون"، الذي استلهم منه بوضوح، لكنه استلهم في الواقع من تطورات الفيزياء الحديثة. ومن ثَمَّ جاء اقتراحه باستخدام خواص الثقوب السوداء قيدَ الدوران للتخلص من التحطم النهائي، والمُضيّ إلى دورة جديدة من التوسُّع. وسوف تُستثمر خصائص هذه الأجسام أيضاً في واحد من الأقسام اللاحقة. إنمّا يكفي في الوقت الحاضر أن نعرف أنَّ ثقباً أسود قيدَ الدوران يكون، بحسب النماذج الرياضية، محوطاً بمنطقة تُدعى "طبقة النشاط"، تشدُّ فضاءها نفسَه حركة الدوران. حيث لا يُمكن لأيِّ شيء في هذه المنطقة أن يبقى ثابتاً، على غرار قارب صغير وقع في دوامة. ومع ذلك، يمكن لشخصٍ ما إذا وجد ما يكفي من الطاقة تحت تصرفه، أن يبقى وقتاً طويلاً في طبقة النشاط، من دون أن يلتهمه ثقبٌ أسود. ها هي إذاً خطة "زيمبروسكي"، التي رواها أحد ممثلي الذكاء الكوني لهذا المستقبل البعيد:*

"... سنكون في مدار في طبقة كثبان الثقب الأسود الهائل، وربّما سوف نتمكّن من العبور إلى دورة الكون اللاحقة مرتحلين في هذه المنطقة المحايدة حيثُ تلغي القوة النابذة أثر الجانبية الساحق... إذ لا يُمكن أن يستمرَّ انهيار الكون حتى يبلغ كثافات لانهائية؛ حيث إنَّ المؤثِّرات الكميّة ستُشعِر بوجودها، قبل هذا بزمن طويل، مانعةً الانهيار النهائي.... سوف يبدأ التوسُّع الجديد، ويحملنا معه إلى ثقبٍ أبيض ..."

مهما كانت خصائص طبقة النشاط غريبة، فمن غير المحتمل أن تبقى هذه المنطقة في مأمن من " الاهتياج المُتعاظِم " لكونٍ في حال التقلُّص. لكن من يدري ...

التقهقر البطيء لكونٍ مفتـوح

" *في مكانٍ ما من الشمال البعيد، في بلدٍ لا اسم له؛ صخرةٌ ضخمة، مكعّبٌ طولُ كلّ ضلع منه مئة كيلومتر. يطير عصفورٌ صغير، مرة كل ألف سنة، إلى قمّة الصخرة، ويحكّ عليها منقاره للحظات. عندما تختفي الصخرة، المتآكلة تماماً نتيجة هذا الاحتكاك، سيكون قد مرَّ يومٌ واحد من الأبدية.*"

هذه الصخرة بالتأكيد غير موجودة في أسطورة بلاد الشمال، ولا يمكن أن توجد على كوكبنا؛ فهي بهذه الأبعاد ستكون على الأرجح كويكباً كبيراً. فإن فرضنا أن العصفور سيُزيل منها فقط جزءاً من ألف غرام في كل زيارة، إذاً ينبغي حوالي 10^{27} سنة لكي تختفي الصخرة. هذه المدة أطول بـ10^{17} مرة من العمر الحالي للكون وبـ10^{14} مرة من عمر الكون المغلق الذي استكشفناه في الأقسام السابقة. لكنَّ الأسطورة واضحة : "*... يوم واحد من الأبدية ليس إلا ...*" . لِنفكِّر في الأمر جِدّياً. تتكوَّن حياتنا بأكملها، حوالي مئة سنة، من 35000 يوم تقريباً. أمّا الكائن الذي تكون "أيامه" طويلة كأيام الأسطورة فينبغي أن يعيش 10^{32} سنة تقريباً.

ومع ذلك، حتى هذه المدة الهائلة ليست هي الأبدية. يمنح الكون المفتوح،

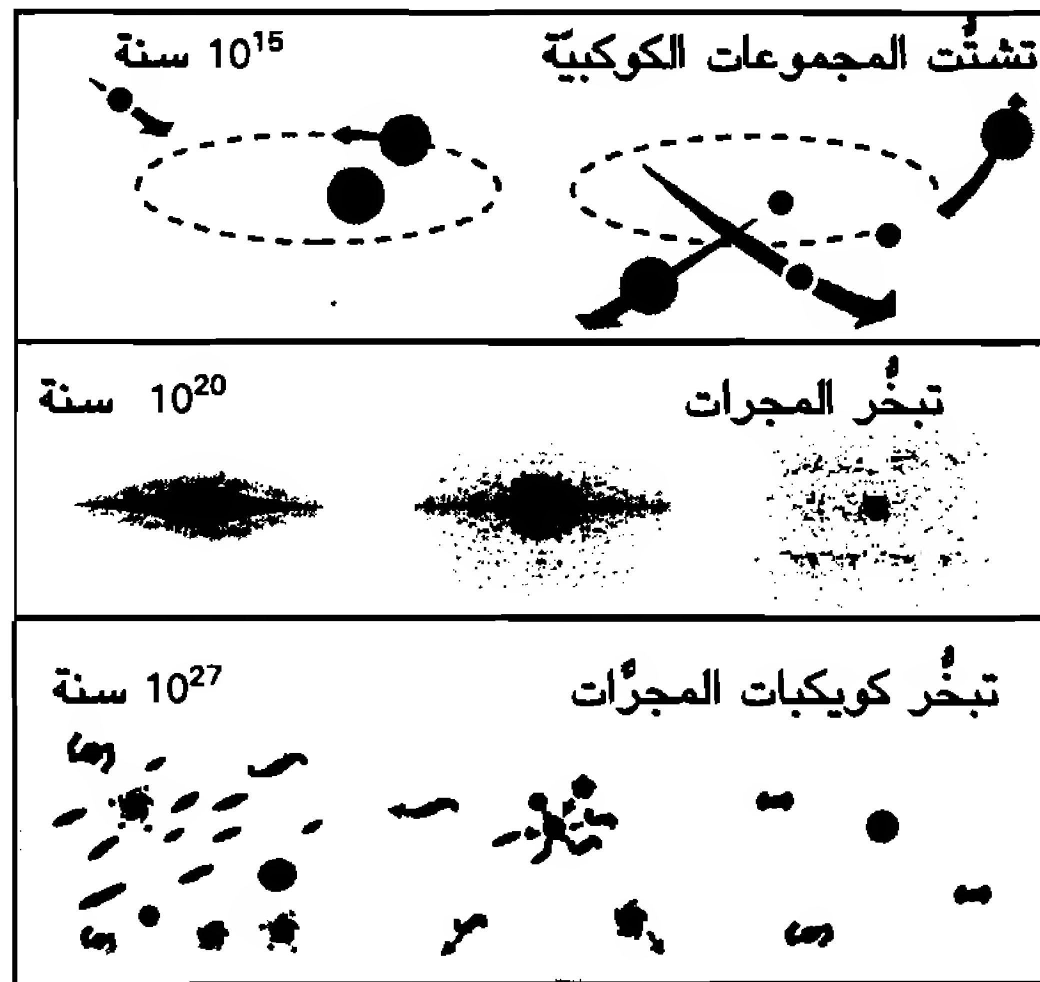
اللامنتهي في المكان وفي الزمان، أرضاً أكثر اتساعاً لتطور المادة، كما سنرى في الأقسام اللاحقة. تمثل عشرات مليارات السنين من النشاط النجمي والمجرّاتي في اتِّساع الزمان ـ المكان اللامنتهي زمناً أقل بكثير من 10^{-43} ثانية من وقت "بلانك" بالقياس إلينا...

بوشرَ بالرحيل إلى المستقبل النهائي للكون المفتوح لأول مرة في نهاية السبعينيات، في ثلاث مقالاتٍ طويلة نشرها الفيزيائيون "جافال إسلام" و"جون بارو" و"فرانك تيبلر"، وكذلك (ومَن أيضاً!) "فريمان دايسون". بَيَّن هؤلاء أن أحداث المستقبل البعيد، على عكس التاريخ الماضي للكون، لا تؤدّي إلى تطور التعقيد: إذ تنزع التأثيرات، على المدى الطويل جداً، إلى تفكيك كل التركيبات التي استطاعت القوى الثلاث (النووية، والكهرمغناطيسية، والجذبية) أن تُكوِّنها حتى الآن (نوى (أنوية)، ذرة، ومجموعات مجرّاتية، ونجمية، وكوكبية). وبطبيعة الحال، تغدو إطالة الحياة مشكلة، في ظروف كهذه، كما سنرى في نهاية هذا الفصل.

سنبدأ رحلتنا، متتبِّعين آثار هؤلاء المكتشفين الأوائل للمستقبل الأقصى، بتاريخ 10^{13} سنة (10000 مليار سنة)، التاريخ الذي بحلوله نستطيع أن نكون متأكدين من أن النشاط النجمي قد توقّف. إذاً سوف توجد المجرّات على أبعاد تفوق مئات المرات أبعادَها الحالية، بينما ستكون حرارة الإشعاع الكوني قد هبطت إلى 0.03 كلفن فقط. وحينئذٍ ستكون قد تشكلت مجرّة نمونجية من جثثٍ نجمية (أقزام سود، نجوم ذات نيترونات، وثقوب سوداء)، ومن نجوم فاشلة (أقزام سُمر) ومواد باردة (كواكب، ومذنبات، وكويكبات، وغبار بين نجمي). ستبقى هذه المواد القاتمة متصلة بمَجَرّاتها ـ الأم بفضل الجاذبية. لكن لن يُبثّ من الآن فصاعداً أيُّ ضوء، ما عدا ومضات عابرة تترافق مع بعض الاصطدامات الأمامية النادرة للنجوم الميتة قريباً من مركز المجرّة، حيث تكون كثافة الكواكب عالية.

سوف يخرجُ، من وقتٍ إلى آخر، نجمٌ جديد من هذا الاصطدام كما بفعل معجزة، ويبدأ باللمعان خلال عدة تريليونات من السنين الإضافية. وفي الحقيقة، ستحفظ الأقزام السُمر، وهي نجوم كتلتها أقل 0.08 مرة من كتلة الشمس، بمخزونها السليم من الهيدروجين. يمكن للتصادم بين قزمين سمراوين أن يقود إلى تشكيل نجم أكثر كثافة من هذا الحد، أيّ قزم أحمر يكون قادراً على حرق هيدروجينها. فبحسب تقديرات الفيزيائيَّين الأميركيَّين "فريد أدامز" و"كريك لوفلن" يمكن لعدة مئات من النجوم التي شكلَّتها هذه العملية العجيبة أن تسكن مجرَّتنا مدة طويلة بعد نهاية النشاط النجمي "العادي". ومن جهةٍ أخرى، ستُسبِّب الصدامات بين قزمين سمراوين انفجاراً مثيراً للنجم الأعظم من طراز خاص. هذا الانفجار، المعروف كمُستعر من نموذج (SNI a) هو سبب وجود الجزء الأعظم من الحديد في الكون، ويأتي الأكسجين وبقية العناصر من انفجار النجوم الثقيلة (مستعر من نموذج II، أو SNII). وهكذا، سوف يستمرّ إنتاج الحديد خلال مئات التريليونات من السنين في المستقبل، وإن كان على مستوى مُنخفض للغاية.

ليس من السهل حساب التطوُّر الحركي المفصل لمنظومة كهذه على المدى الطويل؛ إذ إنه يعتمد على تداخلات جذبية متعددة بين عدد لا يحصى من الأجسام، التي يوجد كلٌّ منها تحت جاذبية الأخرى كلّها (الكون الجاذبية قوة ذات أهميّة غير مُتناهية). سيكون هناك دورٌ، ستأخذه، في الظاهر، اللقاءات الثلاثيّة التي يُخلخِل فيها اقتراب جسمٍ ثالث مدارات منظومة ثنائية وطاقتها. تستطيع بعض الكواكب نتيجة هذا "البلياردو" الكوني الحصول على ما يكفي من الطاقة، ومن السرعة للإفلات من الشدّ الجذبي لمُرافقها، بل لِمجرَّتها أيضاً. وهكذا سوف تتوصَّل هذه اللقاءات، مهما كانت نادرة، إلى أن تقذف غالبية الكواكب من مداراتها بعد نهاية 10^{15} سنة تقريباً (مليون مليار سنة). وحينئذٍ سوف يتبع كل كوكب مساره الخاص في داخل المجرَّة، بعيداً عن مجموعته الأصلية؛ حتى إنَّ بعضها سوف يُقذَف أيضاً إلى خارج المجرَّة و يضيع إلى الأبد في الفضاء بين المجرّات الشاسعة.



الشكل 4-4. تطور الأنظمة الحيوية على المدى الطويل. تفاعلات جاذبية بثلاثة أجسام سوف تفصل تدريجياً الأنظمة الكوكبية، قاذفةً الكواكب من مداراتها (في الأعلى). نفس الظاهرة ستسبِّب تبخُّر الجزء الأعظم من نجوم المجَرَّة، ويتكثف الباقي ليُشكِّل ثقباً أسود مجراتياً من حوالي مليار من الكُتل الشمسية (في الوسط). على سُلَّم زمني أكثر طولاً أيضاً، سيُطرَد الجزء الأكبر من المجرَّات من كوكباتها، بينما يتكثَّف عدد قليل ليُشكِّل ثقوباً سوداء مجراتية ضخمة (في الأسفل). (مُقتبسَة من: ن. برانتزوس و م. كاسيه، مجلة لاروشيرس، 1984).

العملية نفسها سوف تقذف، على المدى الطويل، أغلب النجوم (بالأحرى أغلب الجثث النجمية) من مَجَراتها ـ الأم، بعد سنة تقريباً. ستكون النسبة الضعيفة الباقية (وهي أقلّ من 10%) هي وحدها الخاسرة في لعبة تبادل الطاقة هذه. هذه النجوم، "الوفية" لمجرَّتها ـ الأم سوف تستمر في الدوران في مدارات تضيق أكثر فأكثر حول المركز المجرَّاتي. وهكذا سوف تفقد المزيد من الطاقة على شكل موجات جذبية، وهي تشويهات للمكان ـ الزمان سبَّبتها، وفق النسبية العامّة، الأجرام الدائرة. عادة ما تكون هذه الخسارة في الطاقة ضعيفة للغاية، لكنّها تنتهي، في فترات طويلة إلى حدٍّ مّا، بحمل ما تبقّى من طاقة المجموعة، التي سيستمرّ حجمها في التناقُص. سيكون المصير النهائي هو الانهيار في ثقب

أسود عملاق، سوف يحدث عندما ستتراكم المليارات العديدة من النجوم الباقية في حجم كلّي يُعادل حجم مجموعتنا الشمسية. وحينئذ سوف تختفي لكي تُخلي المكان، بعد حوالي 10^{20} سنة، لثقبٍ أسود مجرّاتي تبلغ كتلته عدّة مليارات من الكُتل الشمسية. وسوف ينطبع مظهر المجرّة، طيلة هذه الفترة، بالتعارض الحادّ في الكثافة بين القسم المركزي الذي لا يني يتكثف (حتى الثقب الأسود) والقسم الخارجي الذي لا يني يتمدّد (حتى تبخُّره التام).

هذه العملية نفسها ستفعل فعلها أيضاً على مستوى الكوكبات المجرّاتية، التي تحتوي على مئات وآلاف المجرّات. القسم الأعظم من أجرامها سوف يُطرَد من الكوكبة، وسيشهد كلٌّ منها المصير الموصوف سابقاً: أي تبخر الجزء الأكبر من النجوم، وتكثُّف الباقي في ثقبٍ أسود مجرّاتي. أمّا مَجَرات الكوكبة الأخرى فسوف تنهار في مركز المجموعة، بعد 10^{27} سنة تقريباً، وهو عبارة عن ثقوب سوداء فوق - مجرّاتية، يبلغ حجمها 100 مليار من الكتَل الشمسية.

في فجر التاريخ

لنحاول أن نتصور مظهر الكون بعد 10^{27} سنة. سوف يكون بالتأكيد أكثر برودة، درجة حرارته لا تزيد على في 10^{-12} كلفن؛ وحينئذٍ سوف يكون طول موجة كل فوتون من فوتونات الإشعاع الكوني مساوياً للمسافة الحالية بين الأرض والقمر. لكن الخاصّة الجديدة سوف تكون غياب هذه التركيبات الفخمة (مجموعات كوكبية، وركام النجوم، ومجرّات، وركام المجرّات) التي كانت تعطيه قديماً مظهره المعتاد، وتسمح لنا أن نُحدّد موقعنا فيه. من الآن وصاعداً، سوف تسلك الكواكب، والكويكبات، والجثث النجمية، والمجرّاتية، طرُقاً منفردة في فضاءٍ مظلم تماماً، متباعدةً بالتبادل مع إيقاع التمدُّد.

إنمّا الأصعب هو تصوُّر مستقبل حضارةٍ ما في هذا المستقبل البعيد. فلو افترضنا وجود حضارة، فهل تتمكّن من التدخل لتمنع التقهقر البطيء

لمجرّتها ـ الأم؟ يمكنها، بتحفيز مصادرها، "ترتيب" لقاءات نجمية قد تُجبر النجوم المعرضة للهروب على البقاء مرتبطة بمجموعتها. سيتوجّب العمل بواسطة تقنية "الدومينو"، وذلك بأن يُستخدَم، على سبيل المثال، مذنَّبٌ ليُخلخل مسار كوكبٍ ما، يغير بدوره مدار نجمٍ ما آخر، وهكذا دواليك. ممّا يحتّم بالضرورة مناورات مُعقّدة، على درجة عالية من الدقّة، لكنها، بلا شك، ستكون في متناول المهندسين الفلكيين المستقبليين. وينبغي، بالإضافة إلى ذلك، التصدّي لذلك مبكراً واستثماره على المدى الطويل، لأن نتائج هذه العمليات لا تظهر إلا بعد مئات مليارات السنين. وهكذا يمكن لحضارةٍ من النموذج III، أن تؤخِّر نحو 10^{23} سنة تَبخُّر كواكب من مَجرّتها. لكن اقتراح "بارو" و"تيبلر" هذا لا يأخذ في الحسبان نقص الطاقة لهذه الفترة البعيدة: لن تبقى نجوم نشيطة، ولا سُحُب من الغاز قابلة للاندماج. سيكون الانشغال الرئيسي للباقين على قيد الحياة أن يتجنّبوا، بأي ثمن، التواجد على كوكب وحيد، ناجٍ في الفضاء بين المجرّات، وأن يحاولوا، على الأرجح، البقاء في المدار حول الثقوب السوداء المجرّاتية. لأنَّ دوّامات الفضاء هذه، مهما بدت غريبةً، فسوف تمثل أملاً في البقاء.

عندما يتشكل ثقبٌ أسود، فمن الجائز ألا يكون ساكناً، لكنه يدور بسرعة حول نفسه. إذ يكفي، في الواقع، أن يكون دورانُ المجموعة النجمية أو المجرّاتية الأوّلية ضعيفاً حتى يتعاظم الانهيارُ فيما بعد (على غرار المُتزحلِق على الجليد الذي يزيد سرعته بمدّ ذراعيه على طول الجسم). لقد تمّت دراسة خواصّ الثقوب السوداء في وضع دوَرانها، خلال الستينيات، وتبيّن، على نحوٍ خاصّ، أن طاقة دوَرانها يمكن أن تبلغ قيَماً مرتفعة، حتى نسبة 30% من الطاقة المرتبطة بكتلتها (فالتفاعلات النووية، بالقياس إلى غيرها، لا تحول إلى طاقة إلا جزء من ألف من الكتلة المُتضمّنة).

تحيط هذه الأجسام، بحسب النظرية، بمنطقة يجد فيها المكان ـ الزمان

أنهما مُلزمان بالمشاركة في الدوران، "تجرُّهما" حركة الثقب الأسود. وقد أطلق الفيزيائي الأميركي "جون أ. ويلر" على هذه المنطقة التي يمكن أن يفلت منها جسمٌ مًّا، إذا امتلكَ ما يكفي من الطاقة، اسم طبقة النشاط (من اليونانية *ergon* = "عمل"). وهي تأخذ دوراً مهماً في عملية استخلاص الطاقة، التي تصوَّرها روجر بنروز. حيث يتعلّق الأمر بإرسال قذيفة إلى طبقة النشاط تنشطر إلى جزأين، يبلع الثقب الأسود أحدهما، بينما يتمُّ قذف الآخر. وقد بيّن بنروز أنه إذا اتَّبع الجزء الذي أُسِرَ، في النهاية، مداراً تراجعياً (حيث يدور في الاتجاه المعاكس لدوران الثقب الأسود)، فإن الجزء الذي يخرج يملك طاقةً تفوق الطاقة الأولية للقذيفة. وبالطبع تضيع هذه الطاقة الإضافية التي اكتسبها الجزء المقذوف في الثقب الأسود، الذي يشهد تباطؤَ دوَرانه.

وهكذا نستطيع أن نتخيل الحضارات المستقبلية، القائمة في محيط الثقوب السوداء النجمية أو المجرّاتية، وأن نستثمر طاقتها الدورانيّة، ونتخلّص، في المناسبة نفسها، من نفاياتها؛ والواقع، أنَّ من الصعب أن نتصوَّر حلاً بيئياً لهذه المشكلة أفضل من الحلّ الذي يرتكز بكل بساطة على إخفاء النفايات من كوننا، بإرسالها إلى "فم الوحش". لكنَّ مخزونات ثقب أسود قيدَ الدوران من الطاقة ليست لانهائية. إذ تستطيعُ حضارة من النموذج II، تستهلك طاقة مماثلة لتلك التي تُشعُّها الشمس حالياً، البقاء على قيد الحياة خلال 10^{23} سنة باستثمار ثقب أسود مجرَّاتي (مع تسليمنا بوجود ما يكفي من الأدوات في الجوار لإلقائه في الدوَّامة). فحتى دوران أكبر الثقوب السوداء المجرّاتية الضخمة، ومقداره 10^{14} كتلة شمسية، سيتوقف تماماً بعد 10^{27} نهاية سنة مع هذا الإيقاع من الاستهلاك. بالتأكيد، سيسمحُ تخفيض متشدد لاستهلاك الطاقة، والانتقال إلى المستوى بإطالة حياتها حتى 10^{35} سنة تقريباً. لكن حتى هذه التضحيات لن تكفي للوصول إلى الأبدية...

البروتونات ليست أبدية

سوف تعود تحوُّلات الكون المفتوح، الموصوفة في القسم السابق، إلى الآثار المرئية للجاذبية. بعد أن كانت هذه القوة أصل النظام الكوني، سوف تنتهي بتدمير كل المجموعات المترابطة التي كانت قد خلقتها، إما بدفع مكوناتها إلى لُجّة الثقوب السوداء، وإمّا بطردها في الفضاء بين المجرّات. وعلى المدى الأطول، الآثار غير المرئية هي التي سوف تهدّد وجود الأجسام الفردية، وقد تُهدّد حتى بقاء المادة خاملة (في حال العطالة).

في أساس تركيب أيّ شيء مادّي، توجد الجُسَيْمات الأولية، البروتونات والالكترونات. خُلِقَتْ هذه الجُسَيمات في اللحظات الأولى للانفجار العظيم، وفيما بعد، وتحت تأثير القوى النووية الكهرمغناطيسية والجذبية، شكّلت النُّوى (الأنوية)، والذرّات، والجزيئات، وكذلك كل بنية مادّية أخرى. هذه التكوينات قاتلة، ويمكن تدميرها بفعل القوى المذكورة أعلاه، لكن مكوِّناتها الأساسية ليست معرَّضة للاختفاء: لأنها بكل بساطة منفصلة، لتتركّب في وقتٍ لاحق، وتكوِّن نوى أخرى، وذرّات، إلخ. في السنوات العشرين الأخيرة، وضعت الفيزياء هذه المفاهيم " التقليدية " حول بنية المادة، التي تعود إلى "ديموقريطس" وذرّيين يونانيين آخرين، موضع التساؤل.

في الحقيقة، لا بُدّ أن يكون البروتون غير مستقر، بحسب نظريات "التوحيد الكبير" التي تحاول وصف كل قوى الطبيعة بشكلانية مترابطة (باستثناء الجاذبية). وينبغي أن يتحلّل إلى جسيمات أكثر خفّة، على غرار جسيم مُشعّ، من نيوترونات وفوتونات، والكترونات وجسيماتها المضادّة، البوزيترونات. ومن حسن حظنا، سيكون هذا التحلّل بطيئاً للغاية، متطلباً على الأقل 10^{31} سنة في حدود النموذج الأبسط.

يمكننا التفكير في أن هذه الفترة الهائلة، الأطول 10^{21} مرّة من العمر الحالي للكون، تجعل هذا التكهُّن غير قابل للتدقيق. ومع ذلك، تجعله الطبيعة

الساكنة للعملية قابلاً للملاحظة لأنه يتطلب فقط بروتون من أصل 10^{31} ينبغي أن تحلّل كل سنة. يجب إذاً أن تُراقَب، لمدة سنة، كمية من المادّة ضخمة نوعاً مّا، على سبيل المثال 1000 طَنّ من الماء الذي يحتوي على 10^{32} بروتون تقريباً، لِسبر بعض عمليّات التحلّل. لقد تمَّ تنفيذ العديد من التجارب من هذا النوع خلال الثمانينيات، لكنّها لم تُحقّق أيَّ نجاح. بل إنَّ إخفاقها أضعفَ النظرية، على الأقل بشكلها الأكثر بساطة، لكنّ هذا لا يعني حتماً أن البروتون مستقرّ: ويمكن لمدة حياته أن تكون (أكثر) طولاً من 10^{31} سنة وربما لانهائية. سينبغي لاحقاً، في غياب اليقين، أن نتفحّص الاحتمالين على قدم المساواة.

لنفترض، على سبيل المثال، أن مدة حياة البروتون هي 10^{32}سنة، هذا يعني أن بروتون على10^{32} يتحلّل كل سنة. وحينئذٍ "يشهد" نجم قزم أسود، أو نجم نو نوترونات كل 10^{25} سنة كميّة من بروتوناتها تتحول إلى ألكترونات، وبوزيترونات، ونيوترينوات وفوتونات. باستثناء النيوترينوات، ذات التفاعل الضعيف جداً مع المادة والتي تهرُب على الفور، سَتُمتصّ هذه الجزيئات داخل النجم الذي ستُسخّنه طاقتها. حيث أظهرت الحسابات أن درجة حرارة النجم تعتمد على كتلته: عدة درجات للأقزام السُّود، ومئة درجة للنجوم ذات الذرّات. وهكذا، تستمر هذه النجوم، على الرغم من نفاد مخزونها من الطاقة، منذ زمن طويل، في الإشعاع بشكلٍ ضعيف، حتى ما بعدَ 10^{14} سنة. لا تتعدى القوة التي يُشعُّها سطح الأقزام السود عدة مئات واط، ما يعادل استطاعة مصباح كهربائي؛ إذ ستكون هذه الأجسام غير مرئية لتفيد أيّة غاية عملية. ومن جهة أخرى، تكسرُ الفوتونات الطاقية، الناشئة من تحلّل البروتونات، النواة الذرية للأقزام السود (بشكل أساسي الفحم والأكسجين)، لتشكلَ نُوى، أكثر خفةً (وخصوصاً الهليوم). وهكذا سيُعدَّل التركيب الكيميائي لهذه المواد تدريجياً. ينبغي أن يحدث تبخُّرها التام بعد 10^{34} سنة على الأكثر، التاريخ الذي تكون فيه كل بروتونات الطبيعة متحلّلة (بما فيها بروتونات المادة بين النجمية). بالطبع، إذا كانت مدة حياة البروتون أطول من 10^{32} سنة، ستصبح عملية التبخر أكثر بطئاً والإشعاع المتطابق أكثر ضعفاً.

لن يحتوي الكون، في تلك الحقبة البعيدة، إلا على غاز مُخفَّف من الألكترونات، والبوزيترونات، والنيوترينوات والفوتونات، تتخلّله بعض الثقوب السوداء النادرة. ستكون كثافة هذا الغاز ضعيفة للغاية : وستبلغ المسافة الوسطيّة بين ألكترون وبوزيترون عدة سنوات ضوئية (مماثلة لمسافة ألفا سنتوري، النجم الأقرب) وسيكون احتمال التقائها وفنائها الناتج عن ذلك معدوماً تقريباً. حينئذٍ يهيمن هذان النوعان من الجسيمات، الأكثر تماسُكاً من الأخرى، على البلازما الكونية إلى الأبد. أما الثقوب السوداء، التكوينات الصلبة الوحيدة، فستشهد وحدةً مطلقة، ويوجد جيرانها الأكثر قُرباً على بعد 10^{19} سنة ضوئية، أي أبعد بمليار مرة من المَجَرّات الأكثر ابتعاداً التي نلاحظها حالياً.

الثقوب السوداء تموت أيضاً...

لن تغيب ظاهرة كمية أخرى عن الظهور على المدى الطويل، سواء أكانت البروتونات مستقرة أم لا : ألا وهي تبخُّر الثقوب السوداء. فبحسب الفيزياء التقليدية، لا يمكن لثقبٍ أسود إلا أن يكبُر، وذلك بابتلاع المادة والطاقة التي يستحوذها إلى الأبد. ومع ذلك، بيَّن ستيفن هوكينغ، عام 1974، أن ثقباً أسودَ ليس هاوية بلا عودة، لأنه يُرسل في بعض الظروف إشعاعاً حرارياً. وصلَ "هوكينغ" إلى هذه النتيجة الخارقة وهو يُحاول أن "يُزاوِج" نظريتين حتى الآن غريبتين الواحدة عن الأخرى: النسبية العامة (نظرية عيانيّة عن الجاذبية) وميكانيك الكمّ (نظرية ظواهر العالَم الصغير). وحتى لو لم يكُن هذا التزاوج مُستهلَكاً دوماً، فاستنتاجات "هوكينغ" حول إشعاع الثقوب السوداء مقبولة، بشكل عام، عند الفيزيائيين.

توجد في أساس الظاهرة الخواصُّ الغريبة للفراغ الكمومي. وقد سبق أن رأينا أنَّ الكون كله رُبَّما انبثق من تقلبات هذا الجوهر الأثيري، في ظروف فترة "بلانك" الاستثنائية. ففي ظروفٍ أكثر اعتدالاً، تخلق تقلّبات هذا "الفراغ"

ببساطة أزواجاً من جسيمات ـ جسيمات مضادة، ندعوها "افتراضية"، لأنها لا تلبث أن تغني بعضها البعض، ولا تعيش إلا جزءاً ضئيلاً من الثانية (تُخلق الجسيمات مزدوجة دائماً؛ لأن الشحنة الكهربائية للتقلُّب يجب أن تكون معدومة). ومع ذلك، إذا حدث التقلُّب قرب أُفق (سطح متخيَّل) ثقب أسود، فمن الممكن أن ينفصل الزوجان، ويسقط أحد الجزيئين في الثقب الأسود وينجحُ الآخر في الهروب. لن يرى مراقبٌ خارجي إلا الجزيء الخارج (الكترون، بوزيترون، نيوترينو أو فوتون) وسيخلُص، بالطبع، إلى أن الثقب الأسود يُشِعّ.

أوضح هوكينغ أن الثقب الأسود، بسبب إرسال هذه الجسيمات وهذه الفوتونات، يمكن أن يُماثِل جسماً ساخناً، تتناسب حرارته المُميِّزة تناسُباً عكسياً مع كتلته. يتَّضِح أنَّ هذه الحرارة، قياساً إلى الثقوب السوداء النجمية منخفضة للغاية، مقدارها 10^{-8} كلفن فقط؛ وأكثر انخفاضاً (حوالي 10^{17} كلفن) بالقياس إلى الثقوب السوداء المجرَّاتية التي يفوق حجمُها مليارّ مرة كتلةَ الشمس. هذه القيَم أدنى كثيراً من الحرارة الحالية للإشعاع الكوني، وسوف تبقى كذلك خلال ملياراتِ ملياراتِ السنين. وبالتالي، ستأخذ الثقوب السوداء لفترةٍ طويلة الدور المعتاد لِـ"مصدر بارد"، بِحكم أنها تمتصّ من حرارة محيطها أكثر مما تتخلّى له عنها.

سوف تنخفض حرارة الكون بعد 10^{30} سنة تقريباً إلى أدنى من هذه القيَم. فلِكون الثقوب السوداء أكثر حرارةً من محيطها، تبدأ الثقوب النجمية أولاً ثُمّ المجرّاتية، وأخيراً المجرّاتية العملاقة، حينئذٍ بِإرسال إشعاعها المُمَيَّز. سيتِمّ هذا الإرسال، بالتاكيد، على حساب كتلتها، المتحوِّلة شيئاً فشيئاً إلى إشعاع. وسوف يُسبِّب تقليل الوزن زيادةً تدريجية في درجة حرارة الثقب الأسود، وبالتالي إرسالاً أكثر كثافة سينتهي بتبخُّرٍ كامل. سيأخذ التبخُّر، قبل الإختفاء النهائي بوقتٍ قصير وبحرارةٍ تفوقُ عدة مليارات الدرجات، شَكل انفجار سَيضيء وميضُه لِلحظة ظُلُمات هذا المستقبل البعيد. سيلزم حوالي 10^{66} سنة لكي يتبخّر

ثقبٌ أسود نجميّ، وزمن أطول أيضاً، بحدود 10^{100} سنة، لتبخُّر الثقوب السوداء المجرّاتية والمجرّاتية العملاقة.

سوف تهيمن الطاقة التي يُرسلها التناقُص المحتمَل للبروتونات، ثُمَ تبخُّر الثقوب السوداء، على الإشعاع الكوني، الذائب والبارد بشكلٍ خارقٍ في تلك الفترات البعيدة. وفي الواقع، يمكن لعملية تبخُّر الثقوب السوداء أيضاً أن تلبّي احتياجات الحضارات الباقية على قيد الحياة. فيَالَهُ من قدرٍ غريب لِلُجَجِ الفضاء هذه، أن تكون مصادر الطاقة النهائية، أي الأمل الوحيد للبقاء في التاريخ السحيق. سوف يستمرّ إشعاعها، في الواقع، خلال فترة طويلة إلى حَد أنّ 10^{30} سنة من التاريخ الماضي للكون سوف تمثل قليلاً من زمن "بلانك" في نظرنا ...

إذاً يمكن لحضارات المستقبل، في الفرضية التي يكون فيها البروتون مستقرّاً، إطالة حياتها حتى سنة تقريباً. حتى إنّ في إمكانها أن تمضي إلى ما بعد هذا التاريخ، مستغلةً حقيقة أنَّ فترة تبخُّر الثقب الأسود تتناسب مع مكعب كُتلته: الزمن المُطابق، في حال كتلة أضخم عشر مرات، أطول ألف مرّة. قد يتمكّن مهندسو المستقبل، من خلال لعبة "البلياردو" الكونية، أن يؤدّوا إلى اندماج الثقوب السوداء، ويزيدون بذلك كتلتها ويُبطئون قوّة إشعاعها، كما يرى الفيزيائي الأميركي "ستيفان فرونسشي". سيكون عليهم الذهاب للبحث بعيداً أكثر، نظراً لشحّ الثقوب السوداء، والمسارات الضرورية للعبة البلياردو (كويكبات، وكواكب، ونجوم ميتة). لكنَّ الكفاح ضدَّ التراجع الكوني المرير لا يمكن أن يمتد إلى ما لا نهاية...

مستقبل غير مستقر

في الحالة التي يكون فيها البروتون غير مستقرّ مع حياة أقصر من 10^{66} سنة، لن يوجد في الكون أيُّ جسمٍ يُرى بالعين المُجرَّدة خلال الفترة الطويلة لتبخُّر

الثقوب السوداء؛ غازٌ الجزيئات الخفيفة (ألكترونات، بوزيترونات، نيوترينوات، وكذلك فوتونات الإشعاع الكوني التي لا يمكن تحاشيها)، الكونيُّ المُنحلُّ بشدّة وحدَه سوف يملأ الفضاءات الكونيّة. يمكن للبروتون، بحسب بعض نظريات الفيزياء الدقيقة الحديثة، الحصول على مدة حياة أطول بكثير، مقدارها 10^{100} أو 10^{200} سنة، ويستحيل تدقيق ذلك عن طريق التجريب. وفي هذه الحال، تحدث الظواهر المرتبطة بانفصال البروتون (الموصوفة في أحد الأقسام السابقة) بشكلٍ أكثر بطئاً، خلال الفترة الطويلة لتبخُّر الثقوب السوداء. وأخيراً، إذا كان البروتون مستقرّاً، ستعمُر الكون أيضاً، فيما بعد 10^{100} سنة، الأجرام المرئيّة (من كويكبات، وكواكب، ونجوم ميتة) الناجية من التبخُّر الحركي للمجرّات الكونية. حينئذٍ سوف يكون معدَّل المسافة بين هذه الأجرام 10^{45} سنة ضوئية، أيّ 10^{35} ضِعف حجم الكون المرصود حالياً.

لا يبدو أيُّ مخزونٍ للطاقة متوفِّراً لاحقاً. بَيْدَ أنَّ تغييرات بسيطة، لا يمكن إدراكها حتى خلال تبخُّر الثقوب السوداء، سوف تستمر في الحدوث على المستوى العياني. وعلى الرغم من بطئها الشديد، ستنتهي هذه الظواهر بالحصول على نتائج مهمة، تؤدّي إلى تقهقر كل الأجسام الصُّلبة.

ثمّة في قاعدة هذا التقهقر البطيء ظاهرة "مفعول النفق" التي يعرفها ميكانيك الكمّ تماماً. إذ إنَّ أيّ جسيم تقليدي لن يمتلك الفرصة لكي يتواجد في الجهة الأخرى من الجدار إذا لم يكن لديه ما يكفي من الطاقة للقفز من فوقه؛ وبالمقابل، يملك جسيم كمومي احتمالاً مًّا للوصول إلى الجهة الأخرى. هذه الظاهرة، المجرَّبة مراراً وتكراراً في المختبر، تُتيح للأنظمة التي سوف نتفحَّصها أن تتبع النزعة العامة للأنظمة الفيزيائية كلّها، أيّ التطور، بأقل ما يمكن من الطاقة، في اتجاه أحوال، على الدوام، أكثر استقراراً. وبطبيعة الحال، يُرسَل فيضُ الطاقة في الفضاء، خلال العملية، بينما يستمرّ القصور الحراري للكون بالزيادة.

الأحداث المستقبلية في كون مفتوح	
الزمن بالسنوات	**أحداث**
10^{14}	• نهاية النشاط النجمي • نجوم ميتة، وباردة (أقزام سود، نجوم بنيوترونات، ثقوب سوداء نجميّة) قزم أسود / نجم ذو نترونات / ثقب أسود
10^{15}	• تمزق المجموعات الكوكبية
10^{20}	• تبخر المجرات • تشكل الثقوب السوداء المجرّاتية
10^{27}	• *تبخّر حشود المجرات • تشكل الثقوب السوداء فوق المجراتية
10^{32} *	•تحلُّل البروتون • الكون يحتوي على لبتونات، وإشعاع، وثقوب سوداء بروتون / لبتون / إشعاع
10^{66}	• تبخر الثقوب السوداء النجميّة
10^{94} 10^{106}	• *تبخر الثقوب السوداء المجراتية وفوق المجراتية
10^{1500} ** $10^{10^{76}}$ **	• تحول المادة العادية إلى مادة حديدية • تحول النجوم الحديدية إلى نجوم نيوترونية وثقوب سوداء *تبخر* الثقوب السوداء مادة عادية / مادة حديدية / مادة نيوترونية / ثقب أسود / تأثير النفق * إذا كان البروتون غير مستقر ** إذا كان البروتون مستقراً

الشكل 5-4. أحداث رئيسية لتطوُّر الكون المفتوح في المستقبل. (مقتبس من ن. برانتزوس، "سماء وفضاء"، 1987).

النواة الأكثر استقراراً، من بين النُّوى الذرية التي تُكوِّن الأجسام المادية المختلفة هي نواة الحديد -56، ملكة الإبداع النووي مع 26 بروتوناً، و30 نيوتروناً. يمثِّلُ استقرارها الأقصى "مثالاً" للنُّوى الأخرى، التي تنزع للوصول إلى ذلك بوساطة التفاعلات النووية : تفاعلات اندماج إذا كانت أخفّ من الحديد

-56، أو تفاعلات انشطار إذا كانت أكثر ثقلاً. يحتاج النظام، في إطار الفيزياء التقليدية، إلى حصّة خارجية من الطاقة لإطلاق هذه التفاعلات: على سبيل المثال، لكي يحدث الاندماج النووي في القلوب النجمية، تلزم درجات حرارة بعشرات أو مئات الملايين (تم الحصول عليها، كما رأينا، بفضل فعل قوّة الجاذبية). لكن، حتى في غياب طاقة التفعيل هذه، يوجد احتمال ضئيل جداً بأنّ تنتج هذه التفاعلات بواسطة "مفعول النفق". يكون معدلها بطيئاً للغاية بالقياس إلى سُلّمنا الزمني، لكن لا شيء يكون بطيئاً بما يكفي إلى الأبد. لقد قُدِرَّ الزمن اللازم لِتحوُّلِ النجوم القزمة السوداء، والكواكب، والكويكبات، وضروب الغبار الأخرى إلى حديد، 10^{1500} سنة.

الحال الحديدية للمادة هي، من وجهة نظر نووية، الأكثر استقراراً بالتأكيد. لكن توجد حالات من الطاقة الأدنى التي لا تتضمَّن حضور النُّوى الذرية. هكذا تتحوَّل نوى الحديد -56 في داخل الأشياء الحديدية ببطء: تترتَّب بروتوناتها مع الألكترونات المجاورة، مُحيِّدةً شحنتها الكهربائية، ومتحولةً إلى نيوترونات. وبالفعل، تمتلك شبكة بلورية من النيوترونات طاقةً أضعف أيضاً، وهي أكثر استقراراً من حالة الحديد. وبعد زمنٍ أطول أيضاً من السابق، ستكتسب جملة المواد الصلبة في الكون تركيباً نيوترونياً.

وحتى النظام الكامِل لشبكة النيوترونات البلوريّة لا يُشكِّل المستوى النهائي للاستقرار. فبسبب "معقول النفق"، يمتلك جسيم على سطح مادة نيوترونية احتمالاً مّا، إمّا باكتساب سرعةٍ تسمحُ له بالهروب من الكوكب، وإمّا بـ "الانزلاق" نحوَّ الداخل. وهكذا سيبدأ الكوكب بفقدان الجزء الخارجي لكتلته تدريجياً، ويتكثف الباقي بالتدريج ليتحوَّل أخيراً إلى ثقبٍ أسود. سبق أن صادفنا ظاهرةً مماثلة أنتجها التطوُّر الحيوي لأنظمة الجاذبية الذاتية: تبخُّر الجزء الأكبر من المجرّات وانهار الباقي في ثقب أسود فائق الحجم. لكن مقاييس الزمن المتطابقة تختلف بشكلٍ كبير. يبلغ مقدارها في حالة أنظمة الجاذبية الذاتية،

حوالي 10^{15} ـ 10^{20} سنة. وقدَّرَ "دايسون" الزمن اللازم في حال التطور بواسطة "أثر النفق"، بـ $10^{10^{76}}$ سنة، وهذا، على الأرجح، أكبرُ من أيّ رقم ذُكِر سابقاً في الفيزياء، و هو بالتأكيد بعيد عن منال العقل البشريّ.

سوف تكون المرحلة الأخيرة من التطور المستقبلي للمادّة هي تبخُّر الثقوب السوداء الوليدة بواسطة آلية "هوكينغ". وسيكون الزمن اللازم، أي 10^{66} سنة تقريباً، بسيطاً قياساً إلى $10^{10^{76}}$ سنة من عملية "مفعول النفق". وبحسب البديهة الدامغة، ستعود ملكية الأبدية إلى الألكترونات، والبوزيترونات، والنيوتريونات، والفوتونات، الماهيّات الوحيدة الخليقة بالبقاء في لانهائية ليل الكون المُتَّسِع ...

أبدية مستحيلة ؟

ماذا سأفعل وأكتب

ضد هبوط الليل ؟

أ.ي. هوسمان، *عبر العلم*

بلغت رحلتُنا إلى أقاصي المستقبل نهايتها. هاهنا تتوقف مقدراتنا التكهنية، القائمة على معارفنا الحالية في الفيزياء. إذ أظهرَ لنا علم الكون الحديث مستقبلاً أكثر تعقيداً، وأكثر غنىً بالأحداث، وزمنا أطول بكثير ممّا كانت تتوقّعه فيزياء القرن التاسع عشر. ومع ذلك، حتى إذا لم يبلغ قصور حرارة الكون أبداً قيمته القصوى، فالنتيجة النهائية للمسيرة الطويلة للكون لا تختلف كثيراً عن صورة الموت الحراري. فسوف تتحوّل المادة كلّها تقريباً إلى إشعاع مُمدّد وبارد، إلى بعض الجسيمات النادرة الخفيفة التي تجد نفسها مُبعثَرة في هذه الامتدادات الشاسعة الضخمة لكونٍ يتّسع باستمرار. أمام هذا الموقف، يبدو من الصعب تجنُّب الاستنتاجات المتشائمة الخاصّة بمصير الذكاء، الملخَّصة جيِّداً في المقطع المشهور الذي كتبه "برتراند راسّل" :

"... أن يكون الانطفاء مصير أعمال الماضي كافةً، والورع، والإلهام، والعبقرية البشرية، وأن يُحكَم على معبد إنجازات الإنسان بالدّفنِ تحتَ بقايا الكون المُنهار - هذه الأشياء كلُّها أكيدة الآن إلى حدّ أنَّ أيّ نظام فلسفي لا يمكن أن يتجاهلها...". لكنَّ هذا المصير المظلم لا يُقلقه فوق اللزوم : " يقولونَ لي إن هذه الرؤية للعالم كئيبة، ولو اعتقد بها الناس، لما أمكنهم أن يتحمّلوا الحياة. لكنّ، لا أحد يقلق، في الواقع، مما سوف يحدث خلال ملايين السنين... وبالتالي، حتى إذا كانت هذه الرؤية قاتمة، فليست قاتمة إلى درجة تجعل حياتنا غير محتملة.، إنها، بكلٍ بساطة، تُجبرنا على أن نلفت انتباهنا نحو أشياء أخرى..."

كانت إيجابية "راسل" الفلسفية واضحة، على حين أنَّ آخرين كانوا يعانون من قبول المقتضيات الفلسفية لاختفاء الحياة. ففي كتابه منكرات شخصية يعبر *"شارل داروين"* عن ارتباكه أمام *"إخفاق"* التطور هذا: *"ممّا لا*

يُطاق، في نظري، وأنا أعتقد أن إنسان المستقبل البعيد سيكون مخلوقاً أكثر كمالاً مما هو عليه اليوم، أن نفكِّر في أنه وبقية الكائنات الحية صائرون إلى الهلاك، بعد هذه الفترة الطويلة جداً من التقدم..."

يتقاسمُ هذه المشاعر كلياً "هوبرت ج. ويلز" مؤلِّف كتاب "آلة استثمار الزمن". وفي سنة 1902، عَبَّرَ "ويلز"، خلالَ مؤتمرٍ في المعهد الملكي في لندن حول " اكتشاف المستقبل"، عن إيمانه بمستقبل النوع البشري، معترفاً ببديهية النقيض:

"وأخيراً، إن من شبه المؤكد أن شمسنا سوف تنطفئ ذات يوم... سوف تموت أرضنا وتتجمَّد، وكذلك كل كائنٌ حي... وهكذا لا بُدَّ أن يختفي النوع البشري بالتأكيد. هذا هو الكابوسُ الأكثر إقناعاً من بين الكوابيس كافّة. ومع ذلك، لا أعتقد بهذا، لأنني أظنُّ أن للعالم معنى، وأنَّ للإنسان مصيراً. يمكنُ أن تتجمَّد عوالِم، وتموت شموس، لكنَّ في أعماقنا شيئاً مًّا يختلج ولا يمكن أن يموت..."

استكشفَ بحارة المستقبل الأقصى مثل "دايسون" و"فروتسشي و"براون"و"تيبلر"، الأقرب إلى تفكير داروين" و"ويلز" من "راسّل"، "إمكانيات إطالة الحياة. إذ يصعب التغلب على الصعوبة الجوهرية لتجهيز الطاقة، على الأقل مع ما لدينا من معارف حالية. لكنَّ تحطيم أزواج الألكترون - بوزيترون، وإشعاع الثقوب السوداء يمثل إمكانيات هامة. وعلى الرغم من ذلك البوزيترون، يتعلق الأمر بالمصادر" غير المتجددة": ينبغي الذهاب إلى أبعد ما يمكن للبحث عن كمياتٍ جديدة من الألكترونات، والبوزيترونات، أو عن الثقوب السوداء التي تكون على الأرجح مُعَدَّة للاندماج مع أزواجها. ومع مرور الزمن، ستتفاقم صعوبة البحث عن "النار" الكونية، نظراً لأنَّ التوسُّع الشامل سيجعل قطع المسافات مستحيلاً. قد يحصل أن يكون التوسُّع بطيئاً بما يكفي للسماح بتطبيق هذه التقنيات فقط في الحال التي تكون فيها كثافة الكون مساوية للكثافة الحرجة (كون "مغلق هامشياً"). وفي الحال الأكثر احتمالاً لكونٍ مفتوح، سيكون التوسُّع سريعاً جداً، ولن تنجح الحضارات المستقبلية بعبور الفضاءات الكونية بالقدْر الكافي من السرعة.

الإمكانية الوحيدة التي استشفّها "براون" و "تيبلر" هي الاستفادة من احتمال تبايُن خواصّ الكون. وفي الحقيقة، لقد تناولنا المستقبل حتى الآن في إطار النموذج الموحّد للانفجار العظيم، الذي بموجبه يكون الكون موحَّد الخواص تماماً؛ وبعبارةٍ أخرى، يتمّ التمدد بالإيقاع نفسه في كل الاتجاهات. وهذا يتضمّن أن يتم التبريد في كلِ مكان بالطريقة نفسها، وأن تكون حرارة الإشعاع الكوني في لحظةٍ ما متشابهة في كل النقاط. ومع ذلك، سيكون من المدهش أن نجد الواقع مُطابقاً لنموذج بسيط جداً. حيث تُبيّن تجربتنا أن النماذج، مهما كانت ناجحة، ليست إلا تخميناً أوّلياً للعالَم الحقيقي (فرسم نموذج الأرض والنجوم بشكل كُرَة إنّما هو فرضية عمل بسيطة ومفيدة، إلا أنَّ من الواضح أنَّ الأرض والشمس وأي كوكب آخر، ليست كرات تامة). ذلك أن تباين الخواص المحتمل يُتَرجَمْ عبْر توسُّعٍ يُسرع في بعض الاتجاهات أكثر من غيرها، مؤدّياً إلى تبريد أكثر أهمية. حينئذٍ يقترح "بارو" و "تيبلر" استخدام التفاوت الحراري بين المناطق "الباردة" والمناطق المجاورة، مصدراً للطاقة، لكن من دون أن يُحدِّدا أيّة وسيلة.

ومعَ ذلك، لن يكون شُحُّ الطاقة وحدَه التهديد الذي يُلقي بكاهله على حضارات المستقبل الأقصى. فعدم استقرار المادة، العائد إلى تحلّل البروتونات أو إلى "مفعول النفق"، سوف يُثير مشاكلَ خطيرة جداً أيضاً، سيُحطِّم عاجلاً أم آجلاً أيّ مظهر صلب. وحينئذٍ سيُثار بإصرار سؤالٌ مُهم، وأكاديمي في الوقت الحاضر: هل يعتمد وجود الذكاء على المضمون المادي الذي يحمله، أي على الجسيمات العضوية المكوِّنة للدماغ، أم على البنية التحتية، أي على توفُّر هذه الجسيمات داخل الفضاء؟ وبعبارةٍ أُخرى، هل يمكننا أن نخترع من موادّ مختلفة نسخةً مطابقة تماماً للدماغ بإمكانها إعادة إنتاج عملِه؟

الجواب على هذا السؤال غير معروف الآن، لكنه قد يكون حاسماً لمستقبل الذكاء على المدى الطويل جداً. ومن الواضح أنه إذا كان سلبياً، أي إذا كان الذكاء

يحتاج إلى داعمٍ عضوي، فسيكون مصيره الاختفاء من المشهد الكوني. ويبدو أنَّ أوّل من تعرضَّ لهذا السؤال مع جوابٍ مؤكَّد هو الفيزيائي الإنكليزي "دسموند برنال". فقد حاولَ "برنال" في كتابه *"العالم، والجسد والشيطان"*، المعروض في الفصل الثاني، استكشاف مستقبل النوع البشري على المدى البعيد جداً. كان عدم استقرار المادة معروفاً في تلك الفترة، لكنَّ التهديد بالموت الحراري للكون دفعه للبحثِ عن بدائل للحياة المستقبلية:

"أخيراً يمكنُ للبشرية أن تَصير "أثيرية" تماماً، وتتنقّل على ذرات في الفضاء، وربما تتحوَّل بشكلٍ كامل إلى ضوء... قد تنتشر هذه الكائنات، باستخدام الحدّ الأدنى من الطاقة، على مساحات شاسعة من المكان والزمان... وقد تَستَعمِلُ أعضاء حسية خاملة (من مادة غير عضوية) لبسْط مجال فِعلها على مسافاتٍ كبيرة... ولما كان مشهد الحياة سيصير الفراغَ البارد للفضاء أكثر مما سيكون الأجواء الحارة للكواكب، سيكون من المفيد عدم استعمال أية مادة عضوية..."

لكن المتبصِّر "برنال" كان يعتقد أن الحياة، حتى مع هذه الحيلة، لا يمكن أن تستمِرّ إلى ما لانهاية. وكان يعتقد مع ذلك أن إعادة هيكلة ملائمة قد تُمكِّن الحياة من أن تدوم ملايين الأضعاف، قبل أن تستسلم للموت الحراري المحتوم.

فيما بعد، جدّد بعضُ مؤلِّفي الخيال العلمي فكرةَ الذكاء "اللامادي"، المتحرّرةً من مشقّات الأعشاش الكوكبية ورفاهيتها، والعيش في برودة الفضاء. لا شكَّ في أنَّ التطبيق الأكثر شهرةً يتمثّل في "الغيمة السوداء"، التي ظهرت سنة في قصة الخيال العلمي *الغيمة السوداء*، التي كتبها عالم الفيزياء الفلكية البريطاني "فريد هويل". حيث تدخُل في مجموعتنا الشمسية غيمةٌ ضخمة قاتمة، تساوي أبعادُها مدار الأرض، وتحجب الشمس عن كوكبنا، ممتصةً ضوء الشمس، ومُسبِّبةً موجةً من البرد والموت على الأرض. يتَّضِح أن الغيمة مزوّدة بذكاءٍ فائق، وأنَّ العلماء ينجحون في الاتصال بها. ويكتشفون أن الأمر يتعلق بغيمةٍ من جسيمات مشحونة كهربائياً، مترابطة وتتواصل فيما بينها بواسطة

القوة الكهرمغناطيسية. وإذ تتزوَّد الغيمة بالطاقة الشمسية، تعود للانطلاق بعد عدة أسابيع، وتتفتّح الحياة شيئاً فشيئاً على كوكبنا.

يمكنُ حالياً أن تُصاغ أفكار "برنال"و"هويل" والآخرين بطريقةٍ أكثر صرامة، في لغة علم التحكم الآلي (السيبرنطيقا). فبحسب "بارو" و"تيبلر"، يمكن أن يُعَدَّ كائن ذكي نوعاً من الحاسوب تتحكّمُ بتشغيله القوانينُ الفيزيائية. يتطابق الدماغ مع البرنامج (البرمجيات)، ويتطابق الجسم مع الآلات. وإذ يدفع بارو وتيبلر هذه التمثُّلات إلى أقصاها، يمضيانِ حتى إلى قول "..مطابقة البرنامج الذي يسيطر على الجسم مع المفهوم الديني للنفس، لأن لِكليهما كيانين لا ماديين..." . من دون الدخول في مابعد طبيعتهم، من المثير للاهتمام أن نرى أن مسألة بقاء الذكاء أُعيدَت صياغتُها هكذا بالطريقة الآتية: "هل سيكون ممكناً في المستقبل البعيد صناعة حواسيب تستطيعُ العمل ببرامج معقدة؟ هل ستكون هناك عوائق أمام تشغيل هذه البرامج؟

أولُ من تدارسَ هذه الأفكار بشكلٍ جدِّي، سنة 1979، هو "فريمان دايسون"، في مقالته المشهورة بعنوانها البليغ: "زمنٌ بلا نهاية: الفيزياء وعلم الأحياء في كونٍ مفتوح." في هذه المقالة، التي فتحت المجال للأُخْرَوِيّات العلمية، يقترحُ دايسون ازدراع الذكاء المستقبلي في غيمةٍ من الجسيمات المشحونة، على سبيل المثال بالألكترونات والبوزيترونات، التي هي أبدية من حيث المبدأ. ستضمَن الخواصّ الكهرمغناطيسية لهذه الجزيئات تجانُس الغيمة، وكذلك اتصالاتها الداخلية والخارجية بواسطة بثّ الإشعاع.

تحتاجُ هذه الكائنات "اللامادية" إلى الحد الأدنى من الطاقة للحفاظِ على هيكلها وقُصورها الحراري في مستوى منخفض (وظيفة حيوية لكائن حيّ)، وكذلك لمعالجة المعلومات (وظيفة جوهرية لكائن ذكي). وفي كلتا الحالين، لايمكن للطاقة الدنيا أن تفوق طاقة الفوتونات المحيطة، وبعبارات أخرى، ينبغي أن تفوق حرارة الجسم حرارة الإشعاع الكوني. ولما كانت هذه الأخيرة تتناقص مع

الزمن، يمكن لهذه الكائنات عديمة الشكل الخارجي ectoplasmiques ضبط حرارة تشغيلها بتخفيضها، وتقريبها تدريجياً من الحرارة المحيطة، وذلك للحدّ من حاجاتها إلى الطاقات الحيوية. بالتأكيد، قد يتباطأ استقلابها مع طاقة أقلّ، و"ارتكاساتها"، وأفكارها، ووظائفها الأخرى كافة. لكنَّ هذا التباطؤ لا يُسبِّب لها مشكلات جدّية، لأن الزمن اللازم سيكون أمامها لإتمام أي مشروع. وبحسب "دايسون"، لا بُدَّ أن تكون كميات الطاقة اللازمة لاستمرارها حيّةً في هذا المستقبل البعيد، متواضعة نسبياً على كل حال. يمكن لحضارةٍ بنفس درجة تعقيد حضارتنا إطالة وجودها إلى الأبد، مع طاقةٍ معادلة لتلك التي تُشعُّها الشمس في ثماني ساعات فقط! تعودُ هذه النتيجة المفاجئة إلى المستوى الضعيف جداً للحرارة المحيطة في المستقبل البعيد، الذي يسمح بتنفيذ مختلف العمليات الفيزيائية ببطء كبير، مع استهلاكٍ أدنى للطاقة.

يجد "دايسون"، مع ذلك، أن تباطؤ استقلاب هذه الكائنات، نفسه، لا يمكن أن يضمن لها الأبدية، للأسباب الآتية. فعليها، كأيّ كائن حيّ، أن تطرد الحرارة الناتجة عن تشغيله، للحفاظ على قصور حرارتها الداخلية في مستوى منخفض. إنَّ معدَّل طرد لهذه الحرارة متناسبٌ، بالطبع، مع الفرق الحراري بين الجسم ومحيطه، الفرق الذي ينبغي أن يتناقص مع مرور الزمن للسماح بإطالة الحياة. ستكون هناك لحظة لن تستطيع فيها الحرارة، رغم تباطؤ الاستقلاب، أن تُطرَد بسرعةٍ كافية، وسيرتفع القصور الحراري الداخلي، مسبِّباً التقهقر وموت الجسم.

لتفادي هذا الموت بواسطة "فرط التسخين الداخلي" في الكون البارد، يقترح "دايسون" إذاً حياة متقطِّعة، بفترات أكثر قصراً من النشاط بالتناوب مع سبات بيات شتوي تطول بالتدريج. تتوقف الوظائف الحيوية كلياً خلال هذه الفترات، لكن الجسم يستمر في تبديد الحرارة الداخلية. يجد "دايسون " أنَّ بإمكان الحياة والذكاء، مع هذه الاستراتيجية، البقاء أبدياً، وحتى الاستمرار في الاتصال عبرَ الفضاءات الشاسعة للكون المتَّسِع. يمكننا قياس التناقض بين

تشاؤم "راسل" الخاضع، وتفاؤل "دايسون" الجوهري: "... مهما ذهبنا بعيداً في المستقبل، سنجد دائماً أحداثاً جديدة تجري، وعوالمَ جديدة للاستكشاف، ومعلوماتٍ جديدة تصل، ومجالاً دائماً لا ينِي يتوسّع من أجل الحياة، والإحساس، والذاكرة... سنجِد كوناً من الغنى، والتعقيدات غير المحدودة، والحياة الأبدية..."

أيّهما على حقّ، "راسل" أم "دايسون"؟ الأبدية وحدها سوف تستطيع أن تقول ذلك ...

خاتمة

"هذا عملٌ مُتخيَّل. حاولتُ أن أتصوَّر قصةً معقولة (أو على الأقل ليست مستحيلة كلياً) لمستقبل الإنسان. إذ يُمكن أن تظهر حكاية المستقبل كأنها ممارسة للتصوُّر المجاني، لمجرد متعة الاستغراب. ومع ذلك، قد يشكِّل عمل خيالي مضبوط في هذا المجال تجربةً مفيدة جداً للعقول المهتمّة بالحاضر وطاقاته الكامنة. يجب أن نقدّر اليوم بشكلٍ جِدّي كل إمكانية لتصوّر مستقبل نوعِنا؛ وهذا ليس لغرض تآلفنا مع المصائر المختلفة (وغالباً المأساوية) المُقدّرة لنا وحسب، بل لكي نُدرك أيضاً بأن عدداً مهماً من مُثلنا العليا العزيزة علينا قد تبدو صبيانية في نظر عقولٍ أكثر تطوُّراً. إنَّ تخيل المستقبل البعيد هو إذاً محاولة لنكي نتصوَّر مكاننا في الكون، ولنصطنع لأنفسنا قيماً جديدة.

ولكي يكون هذا البناء الخيالي للمستقبل صحيحاً، ينبغي أن يخضع خيالُنا للانضباط الأكثر صرامة؛ فالعجائبي لا يمتلك، مخصوصاً وحدَه، إلا سلطة محدودة. وليس علينا البحث عن التنبؤ بما سوف يحدث بالضبط، لأن هذا النوع من النُبوءة عديم الجدوى من دون شكّ؛ فمن المستحيل أن نفعل فِعل المؤرخين الذين يدرسون المستقبل بدلاً من الماضي. في وُسعنا فقط أن نختار طريقاً ممكنة من بين عدد لا يحصى من الطرق الأخرى. لكن لا ينبغي أن نختار بالمصادفة.

عملنا هذا ليس من مجال العلم، لكنّه من الفن؛ وينبغي أن يكون له تأثير العمل الفني في القرّاء. ومع ذلك، ليس هدفنا أن نخلق ببساطة عملاً رائعاً على المستوى الجمالي. وما علينا، في الواقع، أن نُنتج عملاً مُتخيَّلاً بحتاً، لا قصّة، بل أسطورة. فالأسطورة الحقيقية تعبِّر، ضمن إطارِ ثقافةٍ معينة، بطريقةٍ غنية وأحياناً مأساوية، عن أسمى تطلُّعات هذه الثقافة.

هذا الكتاب لا يدَّعي تكوين أسطورةً حقيقية، ولا نُبوءة صحيحة. إنه محاولة إبداع أسطورة.

إذا ما اكتشفَ إنسانٌ من المستقبل هذا العمل، فسوف يبتسم؛ لأنه لا يمكننا اليوم أن نحصل على أدنى دليل على مُعْظَم أحداث المستقبل. يمكنُ لتغييراتٍ جذرية أن تجعلَ هذا النص مضحكاً في القريب العاجل، حتى خلال حياتنا. لكن، لا يهمّ. علينا اليوم أن نحاول تصوُّر علاقتنا مع بقية الكون بأفضل ما نستطيع..."

بهذا الأسلوب الشكسبيري، افتتح "أولاف ستابلدون"، سنة 1930 مقدِّمة كتابه *"آخر الرجال وأوّلهم"*. ويبدو لي من الصعب أن نجِد توضيحاً أفضل لمقصد هذا الكتاب.

يُضيء هذا المقطع، بصورة خاصّة، المفهوم الذي ينبغي أن تمتلكه رؤانا للمستقبل. فالأمر لا يتعلَّق بأرضٍ بعيدة نستطيعُ أن نزورها من باب الفضول، على أجنحةٍ صنعها العلم الحديث. إنَّما يجب أن نعُدّه شاشة تستخدَم لعرض " أعلى تطلُّعات ثقافتنا". هذا يجبرنا، طبعاً، على التفكير بهذه التطلُّعات...

صحيحٌ أنَّ انحطاط الأديان والفلسفات، مُبدِعة أساطير الماضي بامتياز، أخلى المكان للعلوم الحديثة. إذ أصبح العلم منذ القرن الماضي، أحد مصادر الأساطير الرئيسية في مجتمعنا. قد يبدو هذا متناقضاً، لأن على الطريقة العلمية، المستندة إلى الشكّ والارتياب، أن تحطِّم الأساطير. ومعَ ذلك، خلقَ العلم بِمسيرته أساطيرَ جديدة، مُتجدِّدة باستمرار. إحدى هذه الأساطير هي أُسْطُورة الإنسان فائق القوَّة، القادر بفضلِ العلم، على أن يُنصِّب نفسه سيِّداً للطبيعة ولمصيره. رأينا على امتداد هذا الكتاب النسخة الحديثة لهذه الأُسطورة، التي توحي بأنّ الإنسان سوف يتمكّن من بسطِ إمبرطوريته فيما وراء مساحات المكان والزمان الهائلة.

لن يكون هذا التمجيد للمشروع الفضائي، في نظر بعضهم، إلا انعكاساً للإمبريالية الغربية على مستوى أوسع من المعتاد. لن تكون مفردات "استيطان" الكواكب، و"استثمار" الثروات الفضائية، و"غزو" الفضاء، بريئةً، بل موحية بدوافع مُؤسِّسي هذه المشاريع (المقصودة أو غير المقصودة).

لن يكون هذا التمجيد لِمستقبل نوعنا، الكوني، إلا هروباً إلى الأمام، ذلكَ أنَّ نظاماً جديداً للمعتقدات مدعو إلى ملء الفراغ الذي أهملته أنظمة أخرى تعيش انحطاطها. أرسلت الإنكليزية "ماري ميغدلي"، وهي أُستاذة فلسفة، نقداً شديد الحدّة لهذه الرؤى الخاصّة بمستقبلنا الكوني، التي لا تجدها عديمة الفائدة فقط، بل خَطيرة أيضاً. خاتمة كتابها "العلم بوصفه خلاصاً"، المكتوبة بنبرة الجدَل، غاية في الفصاحة: "إن لكوكبنا مشاكلَ ضخمة، ومن الأفضل أن نُركِّز جهودنا لإنقاذه. في النقطة حيث نحن الآن، ربما تشكّل محاولة الحفاظ على معنوياتنا بفيضٍ من التهاني الذاتية (لإنجازاتنا القادمة) ردّ فعلٍ طبيعياً، لكنها طريقٌ مسدودة. إذا استمرَّ جنون العظمةِ هذا، فسينتهي بتقويضِ كلِّ إرادة لإعادة التواصُل مع الواقع. إن التفاوت بين الصُّور والأفعال أكبر من أن يُتسامَح معه. فمن أجل صحتنا العقلية، نحتاج إلى مساعدة رجال العِلم كلِّها، بُغية التوصُّل إلى سلوكٍ أكثر واقعية حِيال العالم الذي نسكنه..."

أجدُ أنَّ هذه الانتقادات مجحفة على نحوٍ خاصّ، ولا أساس لها. كما أعتقد، وأنا أعترف في الوقت نفسه، بخطورة "الحالة الصحية" لكوكبنا، أنَّ الرؤى المستقبلية لا تمنع نوعنا من أن يحُلّ مشكلاته. إنها ليست أحلام "تسيولكوفسكي"، و"ويلز"، والآخرين الذين قادوا إلى "إضاعة الاتّصال مع الواقع". بل على العكس، سمحت هذه الرؤى للإنسان أن يفهمَ بشكلٍ أفضل مكانه في العالم، وأن يُحَدّد لنفسه أهدافاً طَموحة، وأن يتفوّق على ذاته لبلوغ هذه الأهداف، وأن يُحاول، ضمن هذه العملية، إعادة تعريف علاقاته بالعالم؛ وبكلماتٍ أخرى، سمحت له هذه الرؤى أن يتطوَّر على المستوى الثقافي. حيث لعِب فَتْح الحدود، والمغامرة على أراضي جديدة، دوراً أساسياً في سيرورة أنسنة الإنسان، الطويلة هذه. وقد كان الفيلسوف الإنكليزي "ألفرد نورث وايتهيد"، يكتب: "*الحضارة، بعيداً عن المغامرة، انحطاطٌ كامل*".

يصعُب اليوم أن نعرف إذا كان الفضاء سيأخذ دور الحدود الجديدة. وبكل

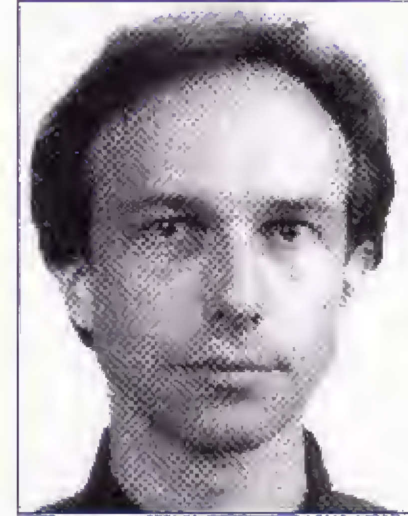
وضوح، لن يحدث هذا في مستقبلٍ عاجل: حتى إذا كانت لدينا كل القدرات التقنية لتنفيذ الخطوات الأولى، يبدو لي أنّ من غير المُمكِن لحضارة مريضة كَحضارتِنا، أن تَنطلق في مشروعٍ بهذا الاتّساع. ينبغي أولاً أن تتوصَّل الأرض إلى دمْلِ جراحها. ولكن، مع مرور الزمن، سوف يتعاظم ضغطُ نداء الفضاءات الكونية.

كذلك ليس في وُسعنا أن نعرف كيف ستجري مغامرة نوعنا الكونية. ستكون المصاعب بالتأكيد أكبر بكثير مما يُمكننا تخيُّله اليوم. وعلى نحوٍ خاصّ، قد يؤدّي اللقاء مع حضارةٍ فضائية إلى انعطافٍ يختلف عن مسعانا اختلافاً مأساوياً. يرى بعضهم في ذلك اللقاء أملاً في الخلاص، بينما يرى فيه آخرون نوعاً من التهديد؛ على حين أنني أفكّر بالأحرى في درسٍ من الذلّ. وبالمقابل، إذا ظهر أننا نمثّل الشكل الوحيد للذكاء في المجرَّة، ستجد أنفسنا إزاء مسؤوليةٍ جسيمة: إذ ينبغي الحفاظ، أطول فترة ممكنة، على هذه التجربة الوحيدة "الناجحة" للطبيعة، ونشرها عبْر الكون. وفي هذه الحال، يكتب "هربرت ج. ويلز"، "خيارنا محدود نسبياً: الكون كله، أو لا شيء على الإطلاق".

نيكولا برانتزوس

أسفار في المستقبل







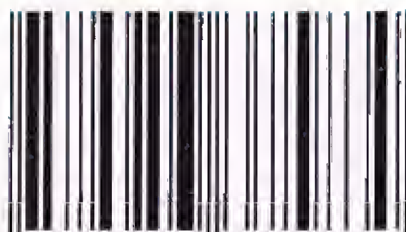


هل سنمضي ذات يوم إلى الكواكب؟ بأية وسائل، ولأيّة غايةٍ؟ ما عسى أن يكون القدر الفضائي للإنسان في العقود، والقرون، والألفيّات القادمة؟ هل سنجد شكلاً آخر للحياة، «روحاً شقيقاً» في الكون، أو هل نحن محكومون بأن نتحمَّل عُزلتنا الكونية؟ وعلى المدى البعيد جداً، ماذا سيكون مستقبل كوكبنا، ومستقبل الشمس، والكون بأكمله؟ وكيف يمكن أن يكون مكان الإنسان في هذا الكون الذي لا يني يتطوَّر، وكل ما يكشفه لنا عِلم الأكوان الحديث؟ هل ستكون هناك نهاية كونيّة لا تواجهها العقائد الأخروية الألفيّة وحسب، بل سيواجهها العِلم في القرن الواحد والعشرين أيضاً؟ أم على العكس، سوف تُطيل الحياة والعقلُ نشاطهما إلى الأبد؟

يقترح علينا هذا الكتاب، بجرأة ظاهرة، استكشاف مستقبلنا الكوني، معبّئاً بدقة شديدة، مصادر العلم الحديث كافة، لكن من دون أن يتردَّد أبداً في استحضار رؤى أدب الخيال العلمي.

نيكولا برانتزوس مدير أبحاث مُساعد في المعهد الوطني الفرنسي للبحوث (CNRS). ولكونه متخصِّصاً في الفيزياء الفلكية، نال عام 1994، جائزة الجمعية الفلكية الفرنسية (SFSA).

في العالم 1998، حصل هذا الكتاب على **جائزة جان روستان**
(MURS - AESF)


9 789953 375830